

**ANALISIS SOIL MOISTURE INDEX (SMI) UNTUK KELEMBABAN
TANAH DENGAN CITRA LANDSAT 8 OLI/TIRS DI KEBUN
PERCOBAAN KARANGPLOSO, KABUPATEN MALANG**

Oleh

NORMA YUNITA SARI



**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS PERTANIAN
MALANG
2018**

**ANALISIS SOIL MOISTURE INDEX (SMI) UNTUK KELEMBABAN
TANAH DENGAN CITRA LANDSAT 8 OLI/TIRS DI KEBUN
PERCOBAAN KARANGPLOSO, KABUPATEN MALANG**

Oleh

NORMA YUNITA SARI
145040201111178

**PROGRAM STUDI AGROEKOTEKNOLOGI
MINAT MANAJEMEN SUMBERDAYA LAHAN**

SKRIPSI

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh Gelar Sarjana
Pertanian Strata Satu (S-1)**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS PERTANIAN
JURUSAN TANAH
MALANG
2018**

PERNYATAAN

Saya menyatakan bahwa segala pernyataan dalam skripsi yang berjudul “Analisis *Soil Moisture Index* (SMI) untuk Kelembaban Tanah dengan Citra Landsat 8 OLI/TIRS di Kebun Percobaan Karangploso, Kabupaten Malang” merupakan hasil penelitian saya sendiri, dengan bimbingan komisi pembimbing. Skripsi ini tidak pernah diajukan untuk memperoleh gelar di perguruan tinggi manapun dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang dengan jelas ditunjukkan rujukannya dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Malang, 24 Juli 2018

NORMA YUNITA SARI
145040201111178



LEMBAR PERSETUJUAN

Judul Penelitian : Analisis *Soil Moisture Index* (SMI) untuk Kelembaban Tanah dengan Citra Landsat 8 OLI/TIRS di Kebun Percobaan Karangploso, Kabupaten Malang.

Nama Mahasiswa : Norma Yunita Sari

NIM : 145040201111178

Jurusan : Tanah

Program Studi : Agroekoteknologi

Pembimbing Utama,

Disetujui

Pembimbing Pendamping,

Prof. Dr. Ir. Soemarno, MS.
NIP. 19550817 198003 1 003

Ir. Budi Santoso, M.P.
NIP. 19571212 198503 2 001

Diketahui
a.n Dekan
Ketua Jurusan

Prof. Dr. Ir. Zaenal Kusuma, SU
NIP. 19540501 198103 1 006

Tanggal Persetujuan :

LEMBAR PENGESAHAN

Mengesahkan

MAJELIS PENGUJI

Penguji I

Penguji II

Prof. Dr. Ir. Zaenal Kusuma, SU
NIP. 19540501 198103 1 006

Prof. Dr. Ir. Soemarno, MS
NIP. 19550817 198003 1 003

Penguji III

Penguji IV

Ir. Budi Santoso, M.P.
NIP. 19571212 198503 1 003

Dr. Ir. Sudarto, MS
NIP. 19560317 198303 1 003

Tanggal Lulus :



**SKRIPSI INI KUPERSEMBAHKAN UNTUK MAMA,
EMAK, PADE DAN BUDE, BABAH, ADIK-
ADIKKU, DAN SEGENAP KELUARGA BESARKU.**

RINGKASAN

NORMA YUNITA SARI. 145040201111178. Analisis Soil Moisture Index (SMI) untuk Kelembaban Tanah dengan Citra Landsat 8 OLI/TIRS di Kebun Percobaan Karangploso, Kabupaten Malang. Di Bawah Bimbingan Soemarno sebagai Pembimbing Utama dan Budi Santoso sebagai Pembimbing Pendamping

Perubahan kondisi kelembaban tanah pada lahan pertanian perlu diperhatikan apakah terlalu kering atau sangat basah pada musim kemarau dan penghujan, hal itu berguna untuk mengoptimalkan produktivitas tanaman dan pengelolaan lahan pada suatu penggunaan lahan. Pengukuran secara lapang kelembaban tanah untuk wilayah yang luas dengan menggunakan pengukuran lapang tradisional sangat sulit, membutuhkan banyak tenaga kerja, mahal, dan memerlukan waktu lama. Kelembaban tanah dapat diidentifikasi dengan menggunakan metode penginderaan jauh. Penginderaan jauh mengacu pada mendapatkan informasi mengenai objek atau wilayah di permukaan bumi tanpa kontak langsung dengan objek atau wilayah tersebut. Salah satu citra penginderaan jauh yaitu citra landsat 8 OLI/TIRS. Metode penginderaan jauh yang digunakan untuk menganalisis kelembaban tanah adalah *Soil Moisture Index* (SMI) atau indeks kelembaban tanah yang menggunakan data algoritma dari sensor satelit seperti *Land Surface Temperature* (LST) dan *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI). SMI didasarkan pada kandungan aktual dari air, kapasitas air dan kapasitas titik layu permanen. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kelembaban tanah menggunakan metode *Soil Moisture Index* (SMI), mengetahui pengaruh tutupan vegetasi (NDVI) dan mengetahui pengaruh suhu permukaan tanah (LST) terhadap kelembaban tanah di Kebun Percobaan Balittas Karangploso, Kabupaten Malang.

Penelitian dilaksanakan di Kebun Percobaan Balai Penelitian Tanaman Pemanis dan Serat Karangploso, Kabupaten Malang pada bulan Desember 2017 sampai dengan April 2018. Kegiatan penelitian dibagi menjadi dua kegiatan yaitu, kegiatan pendugaan SMI menggunakan citra landsat 8 OLI/TIRS dan analisis laboratorium SMI hasil pengamatan lapang. Pengambilan sampel di lapangan berdasarkan satuan peta lahan (SPL) yang didasarkan oleh karakteristik lahan yang sama yaitu tutupan lahan, 5 tutupan lahan/SPL pada lokasi pertanian adalah tanaman tebu (*Saccharum officinarum*), rami (*Boehmeria nivea*), agave (*Agave tequilana*), pohon jati putih (*Gmelina arborea roxb*), dan padi (*Oryza sativa*). Hasil penelitian menyatakan pendugaan kelembaban tanah dengan SMI menggunakan citra landsat 8 OLI/TIRS dapat dilakukan di kebun Percobaan Karangploso dengan nilai korelasi positif $r = 0,897$ dan berpengaruh nyata dengan indeks kelembaban tanah (SMI) hasil pengamatan dilapangan. Faktor indeks vegetasi (NDVI) dan suhu permukaan tanah (LST) berpengaruh nyata terhadap SMI dilapangan dengan masing-masing nilai korelasi positif $r = 0,915$ dan korelasi negatif $r = -0,897$ untuk LST.

SUMMARY

NORMA YUNITA SARI. 145040201111178. Soil Moisture Index (SMI) for Soil Moisture Analysis using Landsat Image satellite 8 OLI/TIRS at Karangploso Experimental Garden, Malang Regency. Under the Supervises of Soemarno as the Main Counselor, and Budi Santoso as the Second Counselor

Soil moisture shifting conditions on agricultural land need to be considered whether it is too dry or too wet during the dry and rainy season, since it is useful to optimize crop productivity and land management on a land use. Soil moisture ground measurements for large areas using traditional measurements are very difficult, labor intensive, highly costs, and time consuming. Soil moisture can be identified using remote sensing methods. Remote sensing refers to obtaining information about an object or region on the surface of the earth without direct contact with the object or region. One of the remote sensing imagery is landsat 8 OLI / TIRS. Remote sensing methods used to analyze soil moisture are the SMI (Soil Moisture Index) using algorithm data from satellite sensors such as land surface temperature (LST) and vegetation index (NDVI). SMI based on the actual content of water, water capacity and capacity of permanent wilting point. This research aimed to analyze soil moisture using Soil Moisture Index (SMI), to know the effect of vegetation cover (NDVI) and Land Surface Temperature (LST) towards soil moisture in Balittas experimental garden, Karangploso, Malang regency.

This research was conducted in Indonesian Sweetener and Fiber Karangploso Research Institute (Balittas) experimental garden, Malang Regency on December 2017 until April 2018. The research activity was divided into two activities, that is; the estimation of SMI using Landsat 8 OLI /TIRS, and land observation of SMI by laboratory analysis. Field sampling based on the same land characteristics (SPL) ie vegetation cover, 5 vegetation cover (SPL) at the experimental garden are sugarcane (*Saccharum officinarum*), hemp (*Boehmeria nivea*), agave (*Agave tequilana*), white teak trees (*Gmelina arborea roxb*), and rice (*Oryza sativa*).

The result of this research showed that the measurement of Soil Moisture Index using landsat 8 OLI / TIRS can be done in Karangploso experimental garden with positive correlation $r = 0,897$, and has significant effect with Soil Moisture Index from field observation. Vegetation index (NDVI) and Land Surface Temperature (LST) factor has significant effect with positive correlation $r = 0,915$ for NDVI and negative correlation $r = -0,897$ for LST on Soil Moisture Index from field observation.



KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran ALLAH SWT karena atas limpahan Rahmat serta Hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi yang berjudul “Analisis *Soil Moisture Index* (SMI) untuk Kelembaban Tanah dengan Citra Landsat 8 OLI/TIRS di Kebun Percobaan Karangploso, Kabupaten Malang”.

Terselesaikannya skripsi ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak, oleh karena itu saya menyampaikan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. Ir. Zaenal Kusuma, SU selaku Ketua Jurusan Ilmu Tanah Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya
2. Dosen Pembimbing Utama Prof. Dr. Ir. Soemarno, MS yang telah memberikan pengarahan dan membimbing dalam penyusunan skripsi ini,
3. Dosen Pembimbing Pendamping Ir. Budi Santoso, MP yang telah membimbing selama kegiatan penelitian sampai pembuatan skripsi ini,
4. Kedua Orang tua, Emak, Mama, Pade, Bude, Adik-adikku Rima, Azil, Aisyah, Jamil dan juga saudara-saudaraku yang selalu memberikan semangat dukungan, mendoakan, dan juga selalu mengingatkan saya untuk segera lulus.
5. Teman seperjuangan Balittas, Nailufar, Longgomita dan Haniif yang selalu saling membantu, saling pengertian dan saling mendukung diberbagai keadaan,
6. Teman-teman yang selalu memaksa untuk ditulis didalam kata pengantar tidak lain dan tidak bukan adalah “Pengabdian Bangil” Queen Hamoqitsi, Dita Cantik, Leli, Kacung Ajeng, Riris, dan Prince Rega. Terima kasih selalu mendukung, menemani saya dan menjadi keluarga saya di Malang.
7. Teman-teman yang membantu kami di lapang, Mas Donny, Mas Bagas, Mas Rajif, Widura, Purwanto, Doni, Arya, Oke Reza.
8. Keluarga Besar 14M SOILER Universitas Brawijaya yang selalu memberikan bantuan dan semangatnya hingga terselesaikannya skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan. Sehingga, penulis membutuhkan kritik dan saran yang membangun dari pembaca. Penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi berbagai pihak.

Malang, Agustus 2018

Penulis

RIWAYAT HIDUP

Penulis bernama lengkap Norma Yunita Sari. Penulis dilahirkan di Bekasi pada tanggal 17 November 1996 sebagai putri pertama dari lima bersaudara dari Bapak Peter Nike dan Trisna Agustina.

Penulis menempuh pendidikan sekolah dasar di SDN Jatiasih IX pada tahun 2002-2008. Kemudian penulis melanjutkan pendidikan ke sekolah menengah pertama di SMP Tulus Bhakti pada tahun 2008-2011. Penulis menempuh pendidikan sekolah menengah atas di SMAN 3 Kota Bekasi pada tahun 2011-2014. Pada tahun 2014 penulis terdaftar sebagai mahasiswa Strata-1 Program Studi Agroekoteknologi Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya Malang melalui jalur SNMPTN.

Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif dalam kegiatan akademik, organisasi dan kepanitiaan di Kampus Universitas Brawijaya. Penulis pernah aktif menjadi asisten praktikum mata kuliah Klimatologi (2015 dan 2016), Bioteknologi Pertanian (2016), Manajemen Kesuburan Tanah (2017), Sistem Informasi Sumberdaya Lahan (2018), dan Pertanian Berlanjut (2018). Selain itu, penulis pernah mengikuti pertandingan pencak silat Perisai Diri 1st Brawijaya Open Cup 2016 dan mendapatkan Juara 2 Beregu Teknik Senjata Putri, dan lomba karya tulis ilmiah Soil Festival 2017 di IPB dan mendapatkan Juara Harapan 2.

Penulis juga aktif dalam organisasi sebagai Staff Departemen HRD *International Association of Student in Agricultural and Related Sciences* (IAAS) tahun (2014-2015) dan Sekretaris Departemen HRD IAAS (2015-2016), Pengurus Perisai Diri Universitas Brawijaya 2015-2016 dan 2016-2017. Selain aktif dalam organisasi, penulis juga mengikuti kepanitiaan yang diselenggarakan di Universitas Brawijaya baik di lingkup program studi dan jurusan maupun universitas yaitu; AVG 2015 sebagai Anggota divisi Sponsorship, IAAS WORLD CONGRESS 2016 sebagai Coordinator Delegates Services, Perisai Diri Brawijaya Open Cup 2016 sebagai Anggota Sekretariat Pertandingan, Gatraksi 2017 sebagai Anggota divisi Acara, dan Gatraksi 2018 sebagai Coordinator divisi Acara.

DAFTAR ISI

	Halaman
RINGKASAN	i
SUMMARY	ii
KATA PENGANTAR	iii
RIWAYAT HIDUP	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR LAMPIRAN	viii
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Tujuan Penelitian	3
1.4. Hipotesis	3
1.5. Manfaat Penelitian	3
1.6. Alur Pikir Penelitian	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Penginderaan Jauh	5
2.2. Citra LANDSAT 8 OLI/TIRS	6
2.3. Kelembaban tanah	10
2.4. <i>Soil Moisture Index</i> (SMI)	17
III. METODE PENELITIAN	30
3.1. Tempat dan Waktu Penelitian	30
3.2. Alat dan Bahan	30
3.3. Pelaksanaan Penelitian	31
3.4. Pengamatan dan Pengumpulan Data	38
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	39
4.1. Hasil	39
4.2. Analisis Citra Landsat 8 OLI/TIRS	46
4.3. Hubungan Tutupan Lahan dengan Kelembaban Tanah	55
4.4. Hubungan Indeks Vegetasi dengan Kelembaban Tanah	56
4.5. Hubungan Suhu Permukaan Tanah (LST) dengan Kelembaban Tanah	59
4.6. Hubungan SMI dengan Kelembaban Tanah	62
V. KESIMPULAN DAN SARAN	65
5.1. Kesimpulan	65
5.2. Saran	65
DAFTAR PUSTAKA	66
LAMPIRAN	81

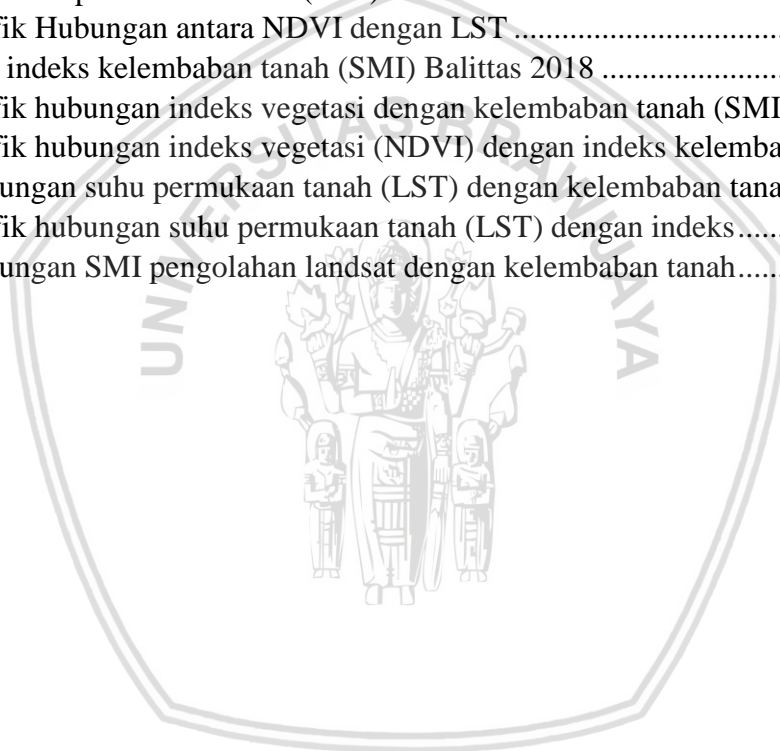
DAFTAR TABEL

Nomor	Teks	Halaman
1.	Kombinasi band landsat 8 OLI/TIRS (USGS).....	7
2.	Pengambilan Citra Landsat 8 OLI/TIRS.....	31
3.	Landsat spektral radiance (Lmin dan Lmin) dan nilai piksel.....	33
4.	Landsat 8 TIRS Thermal constant.....	34
5.	Kisaran Tingkat Kerapatan NDVI (Departemen Kehutanan dalam	34
6.	Klasifikasi Soil Moisture Index (SMI).....	36
7.	Satuan Peta Lahan (SPL) Kebun Percobaan Balittas, Karangploso	43
8.	Data analisis fisika tanah.....	46
9.	Hubungan tutupan vegetasi dengan indeks kelembaban tanah (SMI) hasil...	55



DAFTAR GAMBAR

Nomor	Teks	Halaman
1.	Proses Penginderaan Jauh (Aggarwal, 2003).....	5
2.	Unit umum dari citra landsat yang digunakan untuk analisis ekologi.	10
3.	Scatter plot pada hubungan NDVI-LST dan definisi dari SMI (Parida.....	27
4.	Peta Lokasi Penelitian Kebun Percobaan Balittas, Karangploso	40
5.	Peta Geologi Kebun Percobaan Balittas, Karangploso	41
6.	Grafik Curah Hujan Rata-rata selama 10 tahun	42
7.	Peta Satuan Lahan (SPL) Kebun Percobaan Balittas, Karangploso	44
8.	Peta Elevasi Kebun Percobaan Balittas, Karangploso	45
9.	Peta indeks vegetasi (NDVI) Balittas 2018	47
10.	Peta suhu permukaan tanah (LST) Balittas 2018.....	50
11.	Grafik Hubungan antara NDVI dengan LST	52
12.	Peta indeks kelembaban tanah (SMI) Balittas 2018	54
13.	Grafik hubungan indeks vegetasi dengan kelembaban tanah (SMI).....	57
14.	Grafik hubungan indeks vegetasi (NDVI) dengan indeks kelembaban	57
15.	Hubungan suhu permukaan tanah (LST) dengan kelembaban tanah.....	60
16.	Grafik hubungan suhu permukaan tanah (LST) dengan indeks.....	60
17.	Hubungan SMI pengolahan landsat dengan kelembaban tanah.....	63



DAFTAR LAMPIRAN

Nomor	Teks	Halaman
1.	Hasil Deskripsi Tanah di Balittas.....	81
2.	Perhitungan Kadar Air Volumetrik (ϕ)	86
3.	Perhitungan pF 0	87
4.	Perhitungan pF 2,5	89
5.	Perhitungan pF 4,2	91
6.	Perhitungan Fraksi Air Tersedia dan Indeks Kelembaban Tanah.....	93
7.	Analisis Ragam Pengaruh NDVI Terhadap LST (ANOVA).....	95
8.	Analisis Ragam Pengaruh NDVI Terhadap SMI (ANOVA).....	95
9.	Analisis Ragam Pengaruh LST terhadap SMI (ANOVA)	96
10.	Analisis Ragam Hubungan Indeks Kelembaban Tanah Hasil	96
11.	Tabel Korelasi antar Parameter Tahun 2016.....	97
12.	Tabel Korelasi antar Parameter Tahun 2017.....	97
13.	Tabel Korelasi antar Parameter Tahun 2018.....	97
14.	Tingkat Kerapatan Vegetasi (NDVI) pada Setiap SPL di Balittas	98
15.	Suhu Permukaan Tanah (LST) pada Setiap SPL di Balittas Tahun.....	98
16.	Indeks Kelembaban Tanah (SMI) pada Setiap SPL di Balittas Tahun	99
17.	Hasil Analisa Laboratorium	100
18.	Pengelompokan Kelas Tekstur.....	101
19.	Kriteria Berat Isi Tanah.....	101
20.	Peta Suhu Udara (Braak) Balittas	102
21.	Peta Suhu Permukaan Tanah (LST) Balittas 2016.....	102
22.	Peta Suhu Permukaan Tanah (LST) Balittas 2017.....	103
23.	Peta Indeks Kerapatan Vegetasi (NDVI) Balittas 2016.....	103
24.	Peta Indeks Kerapatan Vegetasi (NDVI) Balittas 2017	104
25.	Peta SMI Balittas 2016	104
26.	Peta SMI Balittas 2017	105
27.	Metode Analisis	106
28.	Dokumentasi	110

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Kelembaban tanah adalah jumlah air yang ditahan di dalam tanah setelah kelebihan air dialirkan, dan merupakan parameter siklus air yang diidentifikasi berkaitan dengan curah hujan dan pertumbuhan tanaman. Kelembaban tanah merupakan faktor kunci untuk menentukan lamanya periode dimana produksi tanaman dan mineralisasi hara dapat terjadi, selain itu pertumbuhan, reproduksi tanaman, dan kemampuan kompetitif tanaman juga bergantung pada kelembaban tanah (Ignacio *et al.*, 2004). Perubahan kondisi kelembaban tanah pada lahan pertanian perlu diperhatikan apakah terlalu kering atau sangat basah pada musim kemarau dan penghujan, hal itu berguna untuk mengoptimalkan produktivitas tanaman dan pengelolaan lahan pada suatu penggunaan lahan.

Banyaknya air yang ada dalam tanah disebut kadar air tanah. Air tersedia, air tidak tersedia, air higroskopis, dan air adhesi merupakan klasifikasi kadar air tanah (Ichsan *et al.*, 2010). Jumlah air yang tersedia bagi tanaman adalah jumlah air yang disimpan dalam tanah pada kondisi kapasitas lapang dikurangi dengan jumlah air yang masih tertinggal dalam kondisi titik layu permanen (pF 2,54 – 4,17). Kapasitas lapang, titik layu permanen dan air tersedia disebut karakteristik kelembaban tanah.

Pengukuran secara lapang kelembaban tanah untuk wilayah yang luas dengan menggunakan pengukuran lapang tradisional sangat sulit, membutuhkan banyak tenaga kerja, mahal, dan memerlukan waktu lama. Pemilihan lokasi sampel pengukuran kelembaban tanah yang secara akurat dapat mewakili suatu wilayah terlepas dari perbedaan sifat tanah, topografi, dan tutupan lahan sangat menantang. Terlepas dari itu, beberapa penelitian mengarahkan untuk memanfaatkan penginderaan jauh.

Kelembaban tanah dapat diidentifikasi dengan menggunakan metode penginderaan jauh. Penginderaan jauh mengacu pada mendapatkan informasi mengenai objek atau wilayah di permukaan bumi tanpa kontak langsung dengan objek atau wilayah tersebut. Penginderaan jauh menggunakan berbagai spektrum elektromagnetik (EMS) pada berbagai panjang gelombang untuk mengambil citra pada permukaan bumi, untuk interpretasi manual citra permukaan bumi secara

otomatis. Salah satu citra penginderaan jauh yaitu citra landsat 8. Landsat 8 diluncurkan pada tanggal 11 februari 2013, membawa 2 instrument *Operational Land Imager* (OLI) dan *Thermal Infrared Sensor* (TIRS) dengan jumlah band sebanyak 11 buah. Band 1 sampai band 9 berada pada OLI dan 2 band lainnya berada pada TIRS (band 10 - band 11).

Metode penginderaan jauh yang digunakan untuk menganalisis kelembaban tanah adalah SMI (*Soil Moisture Index*) atau indeks kelembaban tanah, yang menggunakan data algoritma dari sensor satelit. Indeks ini didasarkan pada kandungan aktual dari air, kapasitas air dan kapasitas titik layu permanen (Hunt *et al.*, 2008). Informasi nilai spektral SMI untuk menentukan kelembaban tanah diperoleh dari tingkat kerapatan vegetasi (NDVI) dan suhu permukaan tanah (LST). Algoritma yang digunakan untuk perhitungan SMI didasarkan pada pemanfaatan LST (*Land Surface Temperature*) dan NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) yang dikalkulasikan menggunakan multispektral citra satelit untuk setiap piksel.

Penelitian ini dilaksanakan di Kebun Percobaan Balai Penelitian Tanaman Pemanis dan Serat, Karangploso, Kabupaten Malang. Penggunaan lahan di Kebun Percobaan Balittas Karangploso sebagian besar merupakan tegalan dengan tutupan lahan tebu, dan sawah. Berdasarkan SK Mentan nomor 5398/Kpts/KP.330/12/2011 tanggal 30 Desember 2011 Balittas mempunyai mandat penelitian dan pengembangan tanaman yang dikelompokkan sebagai komoditas perkebunan, yaitu tanaman serat, yang terdiri atas serat buah (kapas dan kapuk), serat batang (kenaf, yute, rami, rosela, linum, abaka) dan serat daun (sisal, agave, dan mendong); pemanis (tebu, dan stevia); tembakau; dan minyak industri (jarak kepyar, jarak pagar, wijen, bunga matahari, dan kemiri minyak).

1.2.Rumusan Masalah

1. Apakah metode penginderaan jauh SMI (*Soil Moisture Index*) dapat menentukan kelembaban tanah di Kebun Percobaan Balittas Karangploso?
2. Bagaimana pengaruh tutupan vegetasi terhadap kelembaban tanah di Kebun Percobaan Balittas Karangploso?
3. Bagaimana pengaruh suhu permukaan tanah dengan kelembaban tanah di Kebun Percobaan Balittas Karangploso?

1.3. Tujuan Penelitian

1. Menganalisis kelembaban tanah menggunakan metode penginderaan jauh SMI (*Soil Moisture Index*) di Kebun Percobaan Balittas Karangploso.
2. Mengetahui pengaruh tutupan vegetasi terhadap kelembaban tanah di Kebun Percobaan Balittas Karangploso.
3. Mengetahui pengaruh suhu permukaan tanah terhadap kelembaban tanah di Kebun Percobaan Balittas Karangploso.

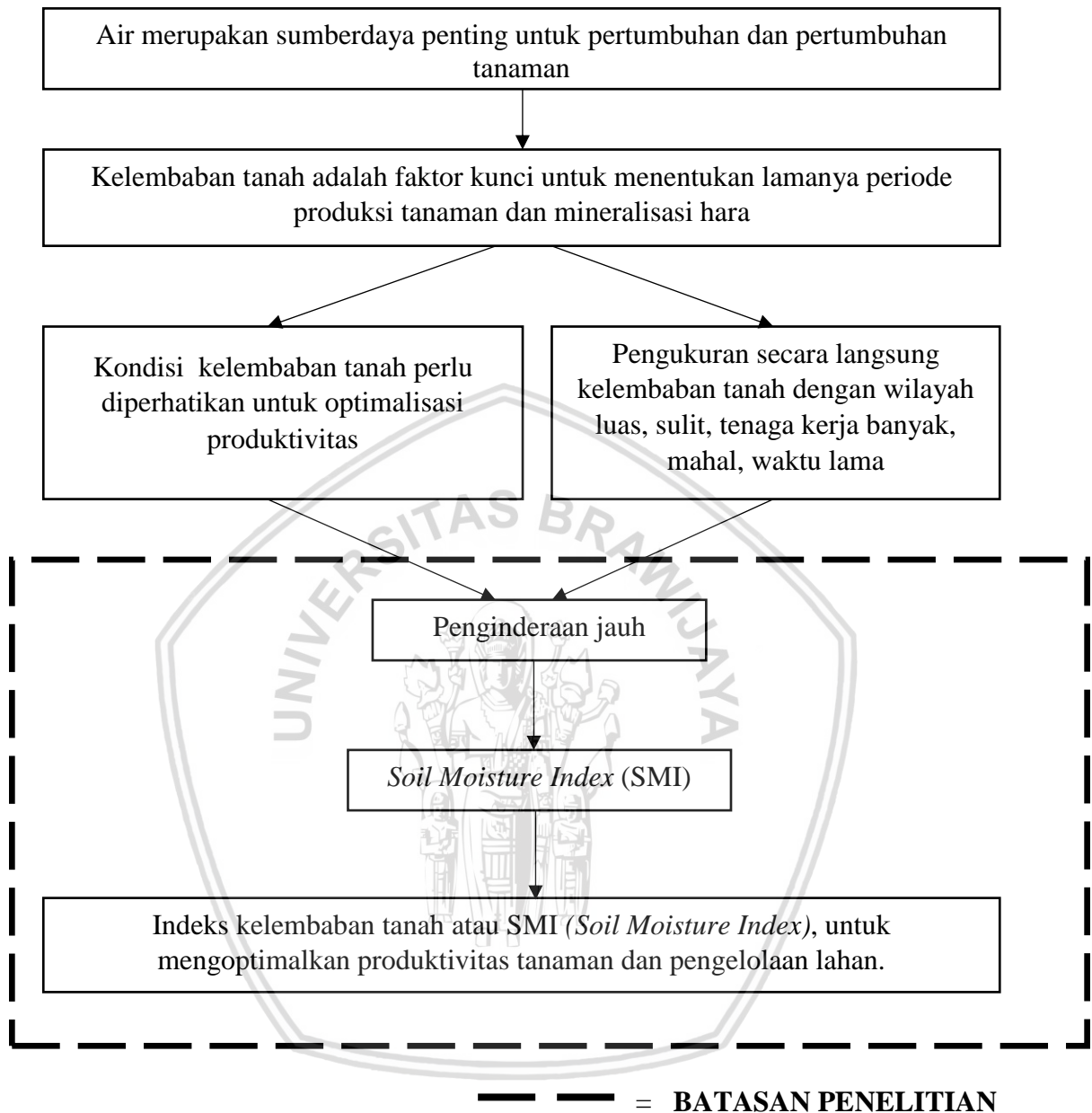
1.4. Hipotesis

1. Analisis kelembaban tanah dapat dilakukan menggunakan metode penginderaan jauh SMI (*Soil Moisture Index*).
2. Tutupan vegetasi akan berpengaruh terhadap kelembaban tanah.
3. Suhu permukaan tanah akan berpengaruh terhadap kelembaban tanah.

1.5. Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat menambah informasi kepada pihak Balai Penelitian Tanaman Pemanis dan Serat (BALITTAS) mengenai penggunaan teknologi penginderaan jauh untuk menganalisis kelembaban tanah dengan menggunakan indeks kelembaban tanah atau SMI (*Soil Moisture Index*), untuk mengoptimalkan produktivitas tanaman dan pengelolaan lahan.

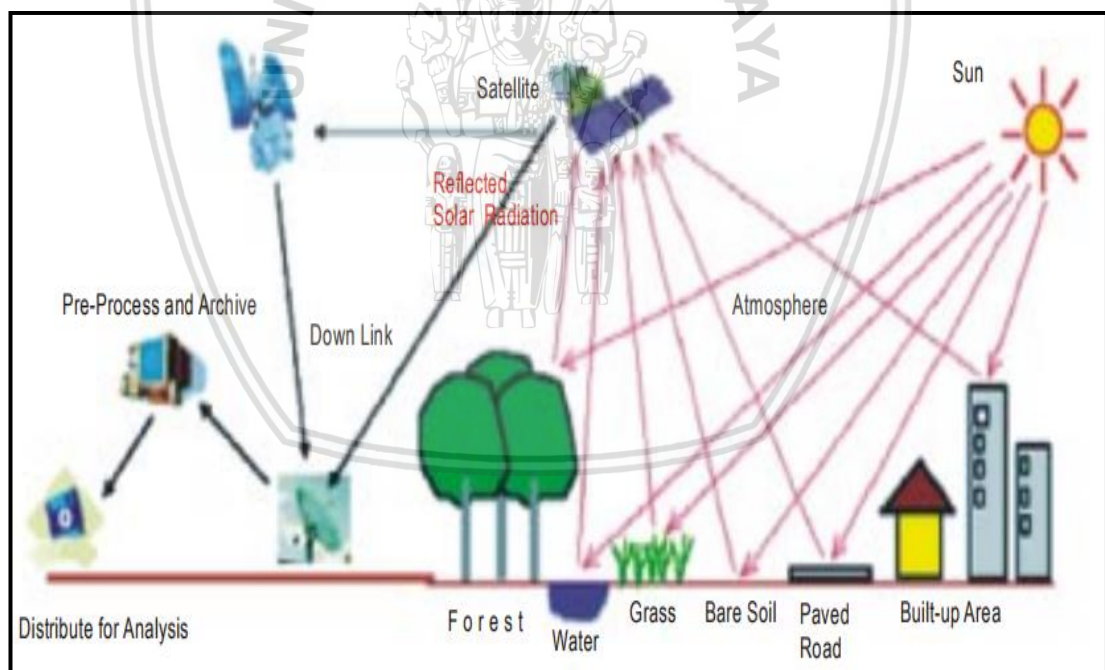
1.6. Alur Pikir Penelitian



II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Penginderaan Jauh

Penginderaan jauh atau yang disebut observasi bumi, merupakan cara yang dilakukan untuk memperoleh informasi tentang benda atau daerah di permukaan bumi tanpa berhubungan langsung dengan objek atau area tersebut. Prinsip dari penginderaan jauh sendiri adalah mendeteksi dan membedakan benda atau fitur permukaan dengan cara mendeteksi dan merekam energi radiasi yang dipantulkan atau dipancarkan oleh benda atau permukaan bahan dan menginterpretasikannya (Lillesand, Kiefer dan Chipman, 2003; Richards dan Jia, 2006) (Gambar 1), benda yang berbeda akan mengembalikan jumlah energi yang berbeda secara berbeda band dari spektrum elektromagnetik di atasnya (Kuenzer dan Dech, 2013; Guo et al., 2013). Hal ini tergantung pada sifat material (struktural, kimia, dan fisik), kekasaran permukaan, sudut kejadian, intensitas, dan panjang gelombang energi radiasi (Aggarwal, 2003; Schott, 2007; Schowengerdt, 2007).



Gambar 1. Proses Penginderaan Jauh (Aggarwal, 2003)

Pada dasarnya, penginderaan jauh adalah ilmu multidisiplin yang mencakup kombinasi dari berbagai disiplin ilmu seperti optik, spektroskopi, fotografi, komputer, elektronika, telekomunikasi, peluncuran satelit, dll. Semua teknologi ini terintegrasi untuk bertindak sebahai suatu sistem yang lengkap dengan sendirinya,

dikenal sebagai sistem penginderaan jarak jauh (Aggarwal, 2003; Schowengerdt, 2007).

Penginderaan jarak jauh menjadi alat yang semakin penting untuk pemetaan dan memantau sumberdaya alam di seluruh dunia (Campbell, 2002; Begni *et al.*, 2005). Hal ini dikarenakan penginderaan dapat meningkatkan visibilitas dan pemahaman data penginderaan jauh secara umum. Hal ini juga dapat memperluas penggunaan sistem informasi geografis (SIG) (Cohen *et al.*, 1996). Salah satu keuntungan dari data citra satelit untuk deteksi dan inventarisasi sumberdaya lahan pertanian adalah setiap lembar (scene) citra ini mencakup wilayah yang sangat luas yaitu sekitar 60–180 km² (360.000–3.240.000 ha).

Penginderaan jauh dapat digunakan untuk mengamati daerah yang sangat luas sekaligus, beserta keadaan lahan yang mencakup topografi/relief, pertumbuhan tanaman/vegetasi dan fenomena alam yang terekam dalam citra memberi peluang untuk mengamati, mempelajari pengaruh iklim, vegetasi, litologi dan topografi terhadap penyebaran sumberdaya lahan dan lahan pertanian (Lentile *et al.*, 2006; Jensen, 2005, 2007; Datla *et al.*, 2011). Ketersediaan data Inderaja/citra satelit dalam bentuk digital memungkinkan penganalisaan dengan komputer secara kuantitatif dan konsisten (Lasaponara dan Masini, 2012). Selain itu data penginderaan jauh dapat digunakan sebagai input yang independen untuk verifikasi lapangan. Penggunaan teknologi penginderaan jauh, penjelajahan atau survei lapangan dapat dikurangi, sehingga akan menghemat waktu dan biaya bila dibanding dengan cara teristis di lapangan.

2.2.Citra LANDSAT 8 OLI/TIRS

Landsat Data Continuity Mission (LDCM) atau dikenal juga dengan nama Landsat 8 merupakan satelit generasi terbaru dari Program Landsat. Satelit ini merupakan *project* gabungan antara USGS dan NASA beserta NASA *Goddard Space Flight Center*. Satelit Landsat 8 yang mempunyai durasi misi selama 5 – 10 tahun ini, dilengkapi dua sensor yang merupakan hasil pengembangan dari sensor yang terdapat pada satelit-satelit pada program landsat sebelumnya. Kedua sensor tersebut yaitu sensor *Operational Land Manager* (OLI) yang terdiri dari 9 band serta *Thermal InfraRed Sensors* (TIRS) yang terdiri dari 2 band.

Landsat 8 memiliki kemampuan untuk merekam citra dengan resolusi spasial yang bervariasi. Variasi resolusi spasial mulai dari 15 meter sampai 100 meter serta dilengkapi oleh 11 saluran (band) dengan resolusi spektral yang bervariasi. Landsat 8 dilengkapi dua instrumen sensor yaitu OLI dan TIRS. Landsat 8 mampu mengumpulkan 400 *scenes* citra atau 150 kali lebih banyak dari Landsat 7 dalam satu hari perekamannya.

Tabel 1. Kombinasi band landsat 8 OLI/TIRS (USGS)

LANDSAT 8		
Saluran (Band)	Bandwidth (μm)	Resolusi (m)
Band 1 Coastal	0.43-0.45	30
Band 2 Blue	0.45-0.51	30
Band 3 Green	0.53-0.59	30
Band 4 Red	0.64-0.67	30
Band 5 NIR	0.85-0.88	30
Band 6 SWIR 1	1.57-1.65	30
Band 7 SWIR 2	2.11-2.29	30
Band 8 Pan	0.50-0.68	15
Band 9 Cirrus	1.36-1.38	30
Band 10 TIRS 1	10.6-11.19	100
Band 11 TIRS 2	11.5-12.51	100

Sensor utama dari Landsat 8 adalah *Operational Land Imager* (band 1-9) yang memiliki fungsi untuk mengumpulkan data di permukaan bumi dengan spesifikasi resolusi spasial dan spektral yang berkesinambungan dengan data Landsat sebelumnya. OLI didesain dalam sistem perekaman sensor *push-broom* dengan empat teleskop cermin, performa *signal-to-noise* yang lebih baik, dan penyimpanan dalam format kuantifikasi 12-bit. OLI merekam citra pada spektrum panjang gelombang sinar tampak, inframerah dekat, dan inframerah tengah yang memiliki resolusi spasial 30 meter, serta saluran pankromatik yang memiliki resolusi spasial 15 meter. Dua saluran spektral baru ditambahkan dalam sensor OLI ini, yaitu saluran *deep-blue* untuk kajian perairan laut dan aerosol serta sebuah saluran untuk mendeteksi awan cirrus. Saluran *quality assurance* juga ditambahkan untuk mengindikasikan keberadaan bayangan medan, awan, dan lain-lain (USGS, 2013).

Thermal Infrared Sensor (TIRS) merupakan sensor kedua yang tersemat dalam Landsat 8. TIRS berfungsi untuk mengindera suhu dan aplikasi lainnya, seperti pemodelan evapotranspirasi untuk memantau penggunaan air pada lahan teririgasi. TIRS merekam citra pada dua saluran inframerah termal dan didesain

untuk beroperasi selama 3 tahun. Resolusi spasial yang dimiliki TIRS adalah 100 meter pada band 10 dan 11 dan teregistrasi dengan sensor OLI sehingga menghasilkan citra yang terkalibrasi secara radiometrik dan geometrik serta terkoreksi medan dengan Level koreksi 1T dan disimpan dalam sistem 16-bit (USGS, 2013).

2.2.1. Ikhtisar dan sintesis dari misi Landsat

Saluran *Near-Infrared* (NIR) dan *Short-wavelength infrared* SWIR sangat berguna untuk memetakan karakteristik kelembaban tanaman dan tanah, serta kualitas air di lahan basah, sungai, dan lingkungan pesisir. Saluran termal inframerah memainkan peran penting dalam pemetaan dan pemahaman ekologi dari kebakaran hutan, pengelolaan sumber daya air dan monitoring evapotranspirasi (Anderson *et al.*, 2012 dalam Young *et al.*, 2017).

Mayoritas data citra Landsat disajikan dengan ukuran piksel 30 m (Tabel 1). Ukuran piksel ini mencegah pemetaan fitur permukaan skala halus. Namun, sering bermanfaat dalam ekologi, karena secara akurat menangkap karakteristik skala lanskap sementara menghindari keperluan komputasi yang signifikan terkait dengan sensor hiper-spasial dan hiper-spektral. Ukuran piksel ini juga cenderung sesuai dengan banyak aktivitas tingkat manajemen. Landsat 4–8 memiliki interval perekaman setiap 16 hari sekali (Schowengerdt, 2007 dalam Young *et al.*, 2017), yang memfasilitasi studi bentang alam (*landscape*) sepanjang waktu. Selain itu, ahli ekologi telah semakin melibatkan citra Landsat, *Global Positioning System* (GPS), data lapang, data topografi, dan variabel pendukung lainnya dalam model spasial korelatif selama dekade terakhir.

2.2.2. Cakupan dan jangkauan data citra landsat

Data citra satelit Landsat mencatat data saat mengorbit Bumi, data ini kemudian dipartisi secara sistematis menjadi gambar berdasarkan lokasi dan tanggal perekaman. Setiap perekaman memiliki lokasi yang ditetapkan yang ditentukan oleh *Worldwide Reference System* (WRS) atau Sistem Referensi Seluruh Dunia. Sistem ini menetapkan jalur yang ditentukan oleh orbit satelit (yaitu, vertikal, latitudinal) dan baris (yaitu, horizontal, longitudinal) untuk setiap perekaman, menghasilkan indeks global katalog basis data. Data landsat

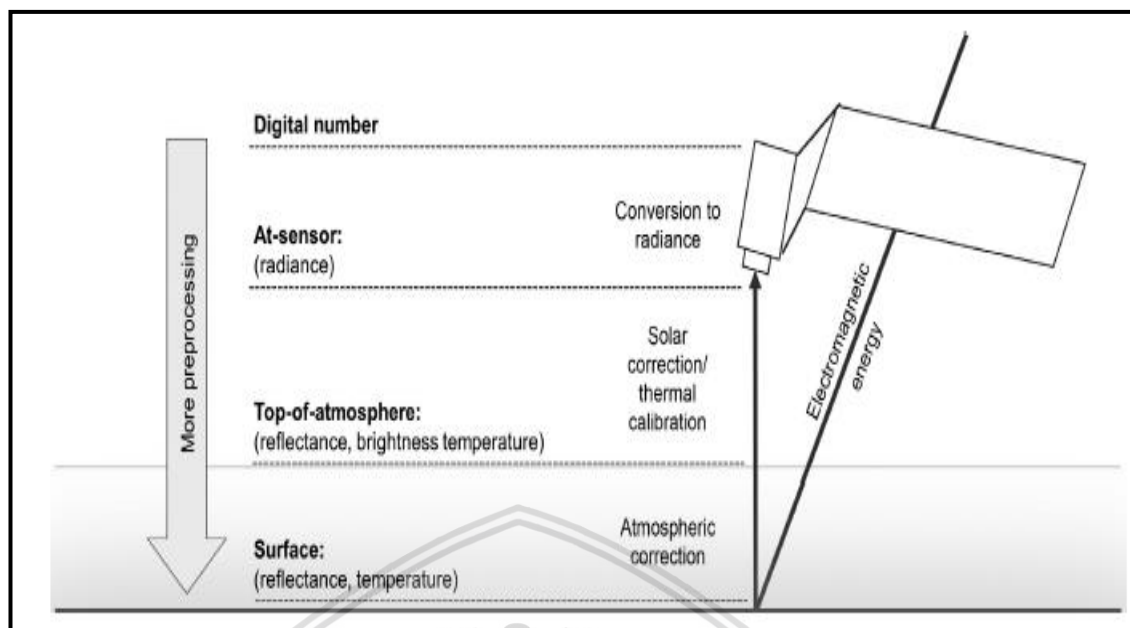
didistribusikan dalam dua WRS; Landsat 1–3 mengikuti WRS1, sementara Landsat 4–8 mengikuti WRS2 karena ketinggian orbit yang berbeda dari satelit.

Pengarsipan citra landsat diproses oleh USGS, dengan penekanan khusus pada Level-1 dan *higher-level Climate Data Records* (CDR). Produk Level-1 merupakan bagian dari data *Collection 1* yang diproses secara sistematis oleh USGS ke tingkatan standar berdasarkan pada kualitas data dan tingkat pemrosesan, sementara produk CDR dengan tingkat yang lebih tinggi menyediakan penambahan tingkat pra pengolahan citra landsat.

2.2.3. Pra pengolahan citra landsat

Citra yang diperoleh dari sensor landsat adalah subyek dari distorsi sebagai akibat dari sensor, matahari, atmosfer, dan efek topografi. Upaya *preprocessing* atau pra pengolahan citra untuk meminimalkan efek ini sejauh dari aplikasi tertentu yang diinginkan. Namun, langkah-langkah pra pengolahan citra memakan waktu, tidak sempurna mengatasi distorsi yang harus dihapus, dan memiliki potensi untuk menambah sumber error. Banyak aplikasi ekologi yang memerlukan pra pengolahan yang lebih lanjut daripada yang disediakan oleh produk Level-1 atau bahkan produk CDR sebelum melakukan analisis. Langkah-langkah pra pengolahan dapat berdampak signifikan terhadap hasil analisis (Sundaresan *et al.*, 2007 dalam Young *et al.*, 2017). Sementara bagian-bagian metode dalam literatur umumnya menyebutkan langkah-langkah ini, membenaran atau alasan untuk melakukannya sering kabur atau dihilangkan, menciptakan kebingungan tentang langkah mana yang harus dipertimbangkan dan apa yang dicapai dari langkah tersebut untuk aplikasi tertentu (Young *et al.*, 2017). Pada bagian ini, kami memberikan gambaran tentang langkah-langkah pra-pemrosesan paling umum yang diterapkan pada produk landsat dan kepentingannya.

Sebelum pra pengolahan citra landsat, penting untuk memahami unit-unit yang umumnya terkait dengan data-data landsat: *digital number* atau nomor digital (DN), *radiance* atau pancaran, dan *reflectance* atau pemantulan untuk band-band yang terlihat oleh SWIR (*visible-SWIR*) dan, untuk band-band termal, DN, *radiance*, dan suhu



Gambar 2. Unit umum dari citra landsat yang digunakan untuk analisis ekologi.

Unit akan berubah setiap tahapan dari koreksi dilakukan: Konversi ke radiance, koreksi solar/kalibrasi termal, dan koreksi atmosfer (Young *et al.*, 2017)

Permulaan sinyal sensor direkam kemudian dikalibrasi ke nilai *radiance* menggunakan *gains* dan *offset* yang berbeda antar sensor dan dari waktu ke waktu karena degradasi sensor. *Radiance* atau pancaran ($\text{watts} \cdot \text{steradian}^{-1} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \mu\text{m}^{-1}$) adalah ukuran fluks energi yang direkam oleh sensor. Nilai-nilai ini kemudian di *rescale* ke nomor digital sebagai 6-bit atau 7-bit (MSS), 8-bit (TM, ETM +), atau 12-bit (OLI, TIRS) (Chander *et al.*, 2009 dalam Young *et al.*, 2017). Produk landsat Level-1 disajikan sebagai *digital number* (DN), yang dapat dikonversi menjadi unit absolut dari *radiance* atau *reflectance*. *Reflectance* atau reflektansi adalah ukuran tanpa unit dari rasio radiasi yang dipantulkan oleh objek relatif terhadap insiden radiasi pada objek. Studi ekologi paling sering menggunakan DN dan reflektansi. Pada saluran termal, studi sering kali menggunakan DN atau suhu (derajat Kelvin).

2.3. Kelembaban tanah

Kelembaban tanah (lengas tanah) adalah air yang mengisi sebagian atau seluruh pori tanah yang berada di atas *water table*. Definisi yang lain menyebutkan bahwa kelembaban tanah menyatakan jumlah air yang tersimpan di antara pori-pori tanah. Kelembaban tanah sangat dinamis, hal ini disebabkan oleh penguapan melalui permukaan tanah, transpirasi dan perkolasi.

Infiltrasi adalah karakteristik suatu tanah, sedangkan intensitas hujan merupakan parameter meteorologi. Kedua hal ini seharusnya tidak memiliki hubungan secara langsung. Namun demikian, infiltrasi dikenal sebagai fungsi dari kadar air tanah. Karena persediaan air hujan untuk meningkatkan kelembaban tanah, ada hubungan tidak langsung. Pada awalnya ketika kondisi tanah masih kering, laju infiltrasi relative rendah. Setelah peristiwa hujan, infiltrasi rendah mulai meningkatkan kelembaban tanah, yang menyebabkan peningkatan infiltrasi lebih lanjut. Ketika kelembaban tanah mencapai saturasi, laju infiltrasi mencapai maksimum. Sekitar 75 % persen dari seluruh air hujan di daerah tropis masuk ke dalam tanah dalam bentuk kelembaban tanah, pada tanah tidak jenuh dan sebagai air tanah pada tanah jenuh atau tanah berbatu. Air terdapat di dalam tanah karena ditahan (diserap) oleh masa tanah, tertahan oleh lapisan kedap air, atau karena keadaan drainase yang kurang baik. Kelebihan maupun kekurangan air dapat mengganggu pertumbuhan tanaman.

Dalam proses infiltrasi, air masuk ke permukaan tanah karena gabungan pengaruh gaya gravitasi dan kapiler. Kedua gaya ini bertindak dalam arah vertikal untuk menyebabkan perkolasi ke arah bawah. Gaya kapiler juga bertindak untuk menggerakkan air secara lateral dari pori-pori yang lebih besar (saluran pengumpan) ke ruang pori kapiler yang jauh lebih kecil dimensinya, tetapi mungkin sangat banyak jumlahnya (Horton, 1940). Ketika proses berlanjut, ruang pori kapiler menjadi terisi air dan dengan perkolasi ke arah bawah yang lebih besar, maka air gravitasi biasanya menghadapi peningkatan resistensi terhadap aliran karena berkurangnya volume atau dimensi saluran aliran, peningkatan panjang saluran, atau penghalang kedap air, seperti batu atau lapisan tanah liat yang kompak. Pada saat yang sama mungkin ada peningkatan resistensi terhadap masuknya air di permukaan tanah karena efek penyegelan permukaan (kerak permukaan) sebagai akibat dari aksi mekanis tetesan air hujan yang menghancurkan agregat tanah dan mencuci partikel tanah yang lebih halus. Hasilnya adalah pengurangan tingkat infiltrasi dalam beberapa jam pertama kejadian hujan, setelah itu laju infiltrasi hampir konstan hingga sisa periode kejadian hujan.

Laju infiltrasi suatu tanah dipengaruhi oleh banyak faktor. Namun demikian, ada perbedaan pendapat yang luas di antara para peneliti mengenai

kepentingan relatif dari berbagai faktor yang mempengaruhi proses infiltrasi tersebut . Misalnya, Duley dan Kelly (1941) dalam uji irigasi sprinkler yang dilakukan pada tanah lempung berdebu dan tanah lempung berpasir menemukan bahwa kondisi permukaan tanah memiliki efek yang nyata pada infiltrasi dan mereka merasakan pengaruhnya pada tingkat infiltrasi jauh lebih besar daripada pengaruh kelembaban tanah awal. Di sisi lain, Green (1963) melaporkan bahwa kondisi kelembaban anteseden dari tanah tertentu dapat mempengaruhi tingkat infiltrasi seesar pengaruh pengolahan lahan, penyegelan permukaan atau perbedaan profil tanah.

Banyak faktor yang mempengaruhi proses infiltrasi dan saling bergantung satu sama lainnya (Williams dan Allman, 1969). Green menemukan bahwa tanah lempung-debu "yang pada awalnya kering" adalah yang paling stabil dan tahan terhadap erosi, sedangkan tanah-tanah liat berdebu adalah yang paling stabil dalam kondisi awalnya basah. Demikian pula, jumlah penyusutan dan pembengkakan tanah tergantung pada kadar air tanahnya. Perubahan volumetrik dan struktural yang menyertai penyusutan dan pembengkakan tanah dapat menghasilkan efek yang nyata pada laju infiltrasi , terutama jika perubahan ini cukup besar seperti yang mungkin terjadi di tanah-tanah liat berat pada proses pengeringan. Ketika tanah liat dalam kondisi retak parah, retakan besar berfungsi sebagai saluran pengumpan yang memungkinkan masuknya air secara langsung ke lapisan permukaan dan distribusinya ke lapisan bawah dan ke arah lateral di bawah tekanan positif. Dalam kondisi seperti itu, laju infiltrasi biasanya jauh lebih tinggi daripada jika tanah tidak retak. Demikian juga, kerapatan dan tegakan vegetasi, memengaruhi infiltrasi, dan juga bergantung pada kelembaban tanah.

Ketika struktur tanah bervariasi dalam berbagai jenis tanah dan horizon dalam profil tanah, ia memiliki dampak yang signifikan terhadap infiltrasi dan aliran air dan transportasi kontaminan di tanah. Kodešová *et al.* (2009) mengkaji pengaruh variasi struktur tanah pada pengangkutan pestisida dalam tanah di atas tabel-air tanah. Transportasi pestisida (*chlorotoluron*) awalnya diterapkan pada kolom tanah yang diambil dari berbagai horizon dari tiga jenis tanah yang berbeda (Haplic Luvisol, Greyic Phaeozem dan Haplic Cambisol) dipelajari menggunakan dua skenario infiltrasi. Tingkat infiltrasi tertinggi dan mobilitas pestisida diamati

untuk horizon Bt1 Haplic Luvisol yang menunjukkan struktur prismatik dan berkembang dengan baik. Tingkat infiltrasi terendah diukur pada horizon Bw Haplic Cambisol, yang memiliki struktur tanah yang kurang berkembang dan hanya sedikit pori kapiler-besar dan pori gravitasi. Tingkat infiltrasi air berkurang selama percobaan karena adanya kerusakan struktur tanah, pembengkakan tanah liat dan / atau udara yang terperangkap dalam sampel tanah. Kerusakan struktur tanah terbesar dan penurunan infiltrasi diamati untuk horizon Ap Haplic Luvisol karena stabilitas agregat yang rendah dari tanah yang pada awalnya terakumulasi dengan baik (Kodešová *et al.*, 2009).

Konsep air tersedia bagi tanaman dikenal untuk mengetahui hubungan antara air, tanah, dan tanaman. Air tersedia bagi tanaman adalah kisaran dari nilai kandungan air di dalam tanah yang sesuai dengan kemampuan tanah dalam menyerap air, atau yang dikenal sebagai retensi air tanah (Denmead dan Shaw, 1962; Ritchie, 1973, 1981). Prinsip dasar air tersedia bagi tanaman berkaitan dengan penyediaan air dalam jumlah cukup dan seimbang untuk pertumbuhan tanaman. Air tersedia merupakan kandungan air tanah antara kapasitas lapang dan titik layu permanen, dan sangat dipengaruhi oleh operasi pengolahan tanah (Fabrizzi *et al.*, 2005; Jemai *et al.*, 2013; Liu *et al.*, 2013; Utomo *et al.*, 2016).

Kemampuan tanah dalam menyerap air (retensi air tanah) disebabkan oleh beberapa macam gaya, yaitu (1) Gaya kohesi; merupakan gaya tarik-menarik antara molekul air; (2) Gaya adhesi; merupakan gaya tarik-menarik antara molekul air dengan partikel-partikel tanah; (3) Gaya osmotik; merupakan gaya pengikatan air terhadap garam-garam terlarut; (4) Gaya gravitasi; merupakan gaya yang cenderung menarik air ke bawah akibat adanya gaya tarikan bumi.

Teknik olah-tanah konservasi mampu mempertahankan air tanah dan ini menjadi alasan utama untuk adopsinya yang cepat di lahan-lahan pertanian tadah hujan di daerah beriklim semi kering. Bescansa *et al.* (2006) menentukan efek olah-tanah konservasi versus olah-tanah konvensional pada kapasitas air tanah yang tersedia (AWC) dan properti terkait pada akhir 5 tahun pengelolaan tanah-tanah liat lempung lempung (Calcic Haploxerept) di semiarid Spanyol utara. Tanpa olah tanah dengan bakar jerami (NTSB) dan tanpa pembakaran jerami (NT), olah-tanah minim dengan bajak-pahat (RT) dan pengolahan tanah konvensional dengan

bouldboard bajak (MT) dibandingkan dalam system monokultur barley-tadah hujan. Bulk density (ρ_b), kandungan bahan organik (OM), retensi air tanah (SWR) pada potensi matrik 0 hingga -1500 kPa, dan kandungan air tanah (SWC) ditentukan pada tahun terkering dari periode penelitian lima tahun (Bescansa *et al.*, 2006).

Kapasitas air yang tersedia lebih besar pada perlakuan NT dibandingkan dengan RT dan MT. Nilai SWC yang lebih tinggi pada perlakuan sistem olah-tanah konservasi (NT, NTSB dan RT) daripada perlakuan MT terutama disebabkan oleh AWC yang lebih besar dan efek mulsa sisa tanaman. Hasil tanaman di tahun terkering dari periode lima tahun adalah terendah pada perlakuan MT, tidak ada perbedaan antara perlakuan yang ditemukan selama periode lima tahun. Kebakaran tunggul-seresah sisa panen tidak mempengaruhi AWC atau hasil barley (Bescansa *et al.*, 2006). Pengolahan tanah berdampak lebih besar pada sifat-sifat tanah dan pada hasil panen daripada manajemen residu (seresah) tanaman.

Potensial air adalah energi potensial air per satuan volume relatif terhadap air murni dalam kondisi referensi. Potensial air mengkuantifikasi kecenderungan air untuk berpindah dari satu titik ke titik lain karena gaya-gaya osmosis, gravitasi, tekanan mekanis, atau efek matriks seperti aksi kapiler (yang disebabkan oleh tegangan permukaan) (Feddes *et al.*, 1988). Konsep dan pemodelan potensial air tanah bermanfaat dalam memahami dan menghitung pergerakan air di dalam tumbuhan, hewan, dan dalam tanah (Ghanbarian-Alavijeh *et al.*, 2010; Brown *et al.*, 2018). Potensial air biasanya dinyatakan dalam energi potensial per satuan volume dan seringkali diwakili oleh huruf Yunani ψ .

Potensial air (tegangan air) mengintegrasikan berbagai gaya potensial gerakan air, yang dapat beroperasi pada arah yang sama atau berbeda. Dalam sistem biologis yang kompleks, banyak faktor potensial dapat beroperasi secara bersamaan. Sebagai contoh, penambahan zat terlarut menurunkan potensial (vektor negatif), sementara peningkatan tekanan meningkatkan potensial (vektor positif). Jika aliran tidak dibatasi, air akan berpindah dari titik dengan potensial air lebih tinggi ke titik dengan potensial lebih rendah. Contoh yang umum adalah air dengan garam terlarut, seperti air laut atau cairan dalam sel hidup. Larutan ini memiliki potensial air negatif, relatif terhadap referensi air murni. Tanpa pembatasan aliran,

air akan berpindah dari titik yang lebih potensial (air murni) ke titik yang lebih rendah (larutan); mengalir terus hingga perbedaan potensial disamakan atau diimbangi oleh faktor potensial air lain, seperti tekanan atau elevasi (Parlange *et al.*, 1998).

Hendrickx, Wierenga dan Nash (1990) meneliti variabilitas tegangan air tanah dan kadar air tanah di lapangan. Sebuah transek dibuat dengan 91 posisi, berjarak 1 m. Kandungan air tanah diukur 16 kali pada kedalaman 0,3 m sebelum dan sesudah menggenangi transek. Ketegangan air tanah diukur 13 kali setelah genangan air. Penerapan teknik "split moving-window" menghasilkan deteksi tiga batas partisi transek dalam empat segmen homogen. Untuk setiap segmen ini, variabilitas tegangan air tanah dan kadar air meningkat secara signifikan ketika tanah mengering. Hasil penelitian ini menguatkan hasil-hasil analisis teoritis yang menggunakan model stokastik untuk memprediksi standar deviasi tegangan air tanah-tanah basah, dengan asumsi konduktivitas hidrolik tidak jenuh adalah fungsi eksponensial tegangan air tanah. Ketika kadar air mendekati nol di tanah yang sangat kering, variabilitas kadar air tanah akan menurun. Namun, data dari penelitian ini dan dari literatur menunjukkan bahwa variabilitas tegangan air tanah pada tanah-tanah kering tetap lebih atau kurang konstan pada tingkat yang tinggi. Hubungan antara kandungan air tanah dengan tegangan air tanah ditemukan linear untuk tanah-tanah yang diteliti. Oleh karena itu, variabilitas tegangan air tanah dan kandungan air tanah secara kuantitatif terkait dengan kemiringan kurva retensi air tanah (Hendrickx, Wierenga dan Nash, 1990).

Kapasitas lapang (KL) adalah kandungan air (\emptyset dalam % volume) di dalam tanah yang biasanya dicapai setelah 2 atau 3 hari sejak terjadi pembasahan atau hujan lebat dan setelah drainase berhenti atau \emptyset_g (potensial gravitasi) sama dengan nol. Kandungan air tanah pada kapasitas lapang sangat tergantung pada berbagai faktor, diantaranya adalah tekstur tanah, kandungan tanah awal, dan kedalaman permukaan air tanah. Namun secara praktikalnya kapasitas lapang setara dengan $pF = 2,54$ (Utomo *et al.*, 2016). Titik layu permanen (TLP) adalah kandungan air tanah di mana tanaman sepenuhnya layu dan pada akhirnya mati, karena tanaman tidak mampu lagi mengembalikan fungsi turgor dan aktifitas biologinya. Secara

umum, tanah yang mengandung klei dan humus akan dapat menyimpan kandungan air yang tinggi.

Berbagai metode *remote sensing* telah dikembangkan oleh para ahli untuk menduga perilaku lengas tanah, faktor-faktornya dan efeknya pada pertumbuhan dan produktivitas tanaman (Hochman, Dalglish dan Bell, 2001; Rawls *et al.*, 2003; Givi, Prasher dan Patel, 2004; Abbasi *et al.*, 2011; Rab *et al.*, 2011; Botula *et al.*, 2012; Parrens *et al.*, 2017; Ebrahimi-Khusfi *et al.*, 2018; Kerr *et al.*, 2018; Tian dan Iqbal, 2018; Zheng *et al.*, 2018)

Retensi air biasanya ditampilkan dalam bentuk kurva yang dikenal dengan kurva pF, dengan demikian untuk satu contoh tanah perlu dilakukan penetapan kandungan air tanahnya pada berbagai tekanan. Kurva pF tersebut mempunyai arti praktikal di lapangan yang melukiskan: (a) hubungan retensi energi yang mempengaruhi proses penting di lapangan, dan (b) gerakan air dalam tanah dan serapan hara bagi tanaman. Kemampuan retensi air, juga disebut tingkat retensi air tanah, adalah ukuran berapa banyak air dapat dipertahankan dalam jenis tanah tertentu atau medium tumbuh tanaman. Kemampuan retensi air tanah tergantung pada jenis tanah, serta sifat dari setiap perubahan yang mungkin telah diperlakukan pada tanah. Misalnya, tanah berpasir memiliki kemampuan retensi air yang sangat rendah, sedangkan tanah berliat memiliki kemampuan retensi yang sangat tinggi. Kemampuan retensi air juga dapat diterapkan pada media tumbuh tanpa tanah.

Nilai pF adalah logaritma ($\log 10$) dari tegangan air tanah yang dinyatakan dalam cm kolom air. Ukuran dari pori-pori tanah berpengaruh terhadap tekanan yang diperlukan untuk mengeluarkan air dari tanah. Kondisi tersebut disetarakan dengan cm tinggi kolom air serta nilai pF untuk masing-masing isapan matriks potensial. Pori-pori tanah yang diameternya kurang dari $0,2\mu$ disebut dengan pori tidak berguna bagi tanaman. Hal ini terjadi dikarenakan akar tanaman tidak dapat mengambil air dari dalam tanah dengan ukuran pori kurang dari $0,2\mu$ dan kurang dari yang dapat dikeluarkan dengan kekuatan tekanan hisap lebih dari 15 atm ($pF = 4,2$).

Daya hisap maksimum akar tanaman untuk dapat mengambil air dalam tanah adalah 15 atm, jika dalam tanah terdapat kondisi air berada dalam pori-pori berdiameter $0,2\mu$, maka tanaman akan layu dan akhirnya mati, maka kandungan air

dalam tekanan 15 atau pF 4,2 disebut dengan titik layu permanen (TLP) atau permanent wilting point. Pori-pori tanah yang berdiameter lebih dari 0,2 μ disebut dengan pori berguna bagi tanaman, dan secara umum pori-pori tersebut dibagi atas tiga kelompok, yaitu: (1) Pori pemegang air, yaitu pori yang berdiameter antara 0,2 sampai 8,6 μ (pF 2,54 – pF 4,2); (2) Pori drainase lambat (PDL), yaitu pori yang berdiameter antara 8,6 sampai 28,8 μ (pF 2,0 – pF 2,54); dan (3) Pori drainase cepat (PDC), yaitu pori yang berdiameter lebih dari 28,8 μ (pF 2,0).

Metode dan teknik remote sensing berbasis data citra telah dikembangkan oleh para peneliti untuk menduga tingkat kelengasan topsoil dan kelembaban permukaan lahan (Zhao *et al.*, 2013; Magagi, Kerr dan Wigneron, 2016; Muñoz-Sabater, Bitar dan Brocca, 2016; Al-Yaari *et al.*, 2017; Ofwono *et al.*, 2017).

2.4. Soil Moisture Index (SMI)

Kapasitas simpanan air tersedia (AWC) dihitung karena perbedaan antara FC dan WP dan bervariasi tergantung pada tekstur tanah, (yaitu pasir, debu, dan liat). Secara umum, tanah-tanah berpasir memiliki sekitar 2,5 cm air, lumpur memiliki AWC 3,8 cm, dan lempung memiliki AWC lebih tinggi dari 5,3 cm air per 30 cm kolom tanah (Sridhar *et al.*, 2008). Beberapa lokasi memiliki tekstur tanah yang bervariasi di antara lapisan dan nilainya diasumsikan berdasarkan pola kelembaban tanah yang diamati. Informasi tekstur tanah tersedia untuk setiap lapisan diperhitungkan ketika menunjuk nilai kapasitas lapangan dan titik layu. Tanda-tanda kekeringan biasanya berkorelasi dengan variasi tingkat kelembaban tanah yang terlihat dan spektakuler. Dengan demikian, kondisi semi kering yang ada di suatu daerah menyediakan bahan-bahan yang diperlukan untuk memulai kekeringan, terutama selama tahun curah hujan rendah dan kemudian bertahan dengan memodifikasi keseimbangan energi permukaan dan karakteristik vegetasi (Keyantash dan Dracup, 2002). SMI dihitung berdasarkan karakteristik tanah dan kondisi kelembaban tanah dan parameternya meliputi FC (kapasitas lapang), WP (titik layu), dan kelembaban tanah (SM). Persamaan ini diberikan sebagai (Sridhar *et al.*, 2008):

$$SMI = \frac{5 (SM-WP)}{(FC-WP)} - 5 \dots\dots\dots(1)$$

Persamaan (1) ini menghasilkan nilai SMI mulai dari kurang dari -5 hingga 0. Hal ini berarti bahwa kelembaban tanah yang sebenarnya ada di kolom tanah dinormalisasi dengan AWC kolom tanah dan kemudian digunakan untuk menghitung indeks. $SMI=0$ menunjukkan tidak ada kekeringan tetapi dapat menuju kekeringan atau pulih dari kekeringan. $SMI -1$ menunjukkan kekeringan dengan intensitas terkecil, sedangkan -5 menunjukkan bahwa kekeringan terjadi dengan intensitas ekstrim. Ketika kelembaban tanah yang sebenarnya mencapai tingkat jenuh (kapasitas lapangan) seperti yang ditunjukkan pada Persamaan (1), maka SMI tidak menjadi negatif dan dengan formulasi ini hanya bisa nol (Sridhar *et al.*, 2008).

Air tanah merupakan parameter penting dalam keseimbangan hidrologi dan sangat penting untuk memahami interaksi permukaan tanah dengan atmosfer. Sementara cakupan spasial pengamatan air tanah relative buruk di sebagian besar wilayah dunia, probe impedans telah digunakan untuk mengukur air tanah dengan dukungan Jaringan Data Cuaca Otomatis (AWDN). Hunt *et al.* (2008) mengembangkan Indeks Kelembaban Tanah (SMI-Soil Moisture Index) yang didasarkan pada kandungan air yang sebenarnya (θ) dan kapasitas lapangan dan titik layu. SMI merupakan fungsi kontinyu dan berskala dari 5.0 hingga -5.0, dengan 5.0 mewakili θ pada kapasitas lapang dan -5.0 mewakili θ pada titik layu. SMI digunakan dalam berbagai penelitian untuk menganalisis musim tanam di berbagai lokasi di dunia. SMI terbukti efektif dalam menggambarkan permulaan kekeringan dan pada mengidentifikasi pengisian air tanah, ketika terjadi hujan deras setelah musim kering (Hunt *et al.*, 2008).

Aplikasi dari metode penginderaan-jauh menyediakan data geospasial yang memungkinkan pembangkitan informasi yang memadai terkait dengan fenomena banjir dan kekeringan yang terjadi pada kawasan permukiman dan lahan-lahan pertanian. Metode yang digunakan oleh para ahli bergantung pada penggunaan Indeks Lengas Tanah (SMI – *Soil Moisture Index*) yang dalam algoritmanya menggunakan data yang diperoleh dari sensor satelit. Indeks ini didasarkan pada kandungan aktual lengas tanah (θ), kapasitas lapang dan titik layu (Hunt *et al.*, 2008). Citra satelit multispektral dari band-visibel (pita merah) dan inframerah (pita inframerah dan termal) sangat penting untuk penghitungan indeks. Hanya beberapa platform satelit yang membawa sensor untuk mengumpulkan data dari spektrum

khusus tersebut. Di antara sensor-sensor ini, adalah Aster dan Landsat TM, ETM+, dan OLI dan TIRS (Zhan, Qin dan Wang, 2004; Zeng, Feng dan Xiang, 2004; Potić, Bugarski dan .Matić-Varenica, 2017).

Dua adegan satelit yang berbeda diunduh menggunakan aplikasi web USGS Earth Explorer. Jalur dan deretan adegan adalah 186.029 dari satelit Landsat 7 dan Landsat 8. Gambar-gambar tersebut berasal dari 30.08.2012 dan 09.06.2014. Band yang diperlukan dari adegan untuk perhitungan adalah Merah dan Inframerah Dekat (NIR) untuk perhitungan Indeks Normalisasi Perbedaan Vegetasi (NDVI) dan Termal Inframerah (TIR) band untuk perhitungan Suhu Permukaan Tanah (LST). Resolusi spasial dari band yang digunakan adalah 30 m untuk kedua adegan, sementara resolusi radiometrik 8 bit untuk data Landsat 7 dan 16 bit untuk data Landsat 8 dan 16 hari sebagai resolusi sementara untuk kedua satelit (Potic, Bugarski dan Matic-Varenica, 2017). Proyeksi peta adegan adalah UTM Zone 34N dengan datum WGS84. Area minat yang dipilih adalah *cloud* gratis. Dalam prosedur preprocessing data Landsat, Pengurangan Koreksi Objek Kegelapan (DOS1) dan koreksi radiometrik dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak plugin QGIS SCP (Potic, Bugarski dan .Matic-Varenica, 2017).

Algoritma yang berlaku untuk perhitungan fungsi SMI didasarkan pada pemanfaatan NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) dan LST (*Land Surface Temperature*) yang dihitung dengan menggunakan citra satelit multispektral untuk setiap piksel (Wang dan Qu, 2009; Shafian dan Maas, 2015). Ada berbagai mode penyajian untuk SMI, Michigan Tech Research Institute (2009) menyatakan nilai SMI dari 0 sampai 1 dimana nilai yang lebih mendekati 1 mewakili tingkat kelembaban tanah yang diperkirakan lebih tinggi. Hunt *et al.* (2008) menyatakan data kontinyu SMI dengan nilai dari -5 sampai 5, dimana $\theta = 5$ adalah kapasitas air lapang sedangkan $\theta = -5$ adalah titik layu, namun SMI dapat berada jauh diatas 5 selama kondisi sangat lembab, dan dapat berada dibawah -5 selama kecaman air yang luar biasa. Selanjutnya, data ini dapat digunakan untuk membuat pemetaan kelembaban tanah yang dapat digunakan untuk menentukan kebutuhan pemantauan irigasi atau drainase lahan. Parida *et al.* (2008) mengklasifikasikan nilai $SMI > 0,3$ sebagai tidak ada kekeringan atau kondisi kelembaban tanah yang menguntungkan, sedangkan nilai $SMI < 0,3$ dikelompokkan

menjadi tiga kategori kekeringan, yaitu kekeringan parah, sedang, dan sedikit. Hasil-hasil penelitian menunjukkan bahwa data SMI antara 0 dan 1 adalah yang terbaik untuk menggambarkan tingkat kelembaban tanah.

Indeks vegetasi yang paling umum digunakan adalah NDVI, yang mana berdasarkan perbedaan antara penyerapan maksimal radiasi di R (*red*) sebagai hasil pigmen klorofil dan reflektansi maksimum di wilayah spektral NIR (*near infrared*) sebagai hasil struktur sel daun (Tucker, 1979 dalam Karnieli *et al.*, 2010). NDVI adalah pengukuran jumlah dan vigor dari vegetasi pada permukaan. Besaran dari NDVI dihubungkan dengan tingkat dari aktivitas fotosintesis pada vegetasi yang diobservasi. Secara umum, semakin tinggi nilai NDVI dikaitkan dengan vegetasi yang sehat dicerminkan sangat baik pada spektrum inframerah-dekat (NIR) dan menyerap banyak dari energi pada bagian merah dari spektrum (Parida *et al.*, 2008).

Indeks vegetasi NDVI adalah indikator grafis sederhana yang dapat digunakan untuk menganalisis pengukuran penginderaan jarak jauh, biasanya dari platform ruang angkasa, dan menilai apakah target yang diamati mengandung vegetasi hijau hidup atau tidak (Defries, dan Townshend, 1994). Tanaman hijau yang hidup menyerap radiasi matahari di daerah spektral fotosintesis aktif (PAR), yang digunakan sebagai sumber energi dalam proses fotosintesis. Sel-sel daun juga telah berevolusi untuk memancarkan radiasi matahari di daerah spektrum dekat-inframerah (yang membawa sekitar setengah dari total energi matahari yang masuk), karena energi foton pada panjang gelombang lebih panjang dari sekitar 700 nanometer tidak cukup besar untuk mensintesis molekul organik. Daya serap yang kuat pada panjang gelombang ini hanya akan menyebabkan pemanasan berlebih pada tanaman dan kemungkinan dapat merusak jaringan tanaman. Oleh karena itu, tanaman hijau hidup tampak relatif gelap di PAR dan relatif cerah di dekat-inframerah (Gates, 1980; Rouse *et al.*, 1973). Sebaliknya, awan dan salju cenderung agak terang di merah (serta panjang gelombang lain yang terlihat) dan cukup gelap di dekat-inframerah. Pigmen pada daun tanaman, klorofil, sangat menyerap cahaya tampak (dari 0,4 hingga 0,7 μm) untuk digunakan dalam fotosintesis. Struktur sel daun, di sisi lain, sangat mencerminkan cahaya inframerah dekat (dari 0,7 hingga 1,1 μm). Semakin banyak daun yang dimiliki sebuah pabrik, semakin banyak panjang gelombang cahaya ini yang terpengaruh. Sejak instrumen awal

Pengamatan Bumi, seperti ERTS NASA dan AVHRR NOAA, memperoleh data yang terlihat dan dekat-inframerah, adalah wajar untuk mengeksploitasi perbedaan kuat dalam reflektansi tanaman untuk menentukan distribusi spasial mereka dalam citra satelit ini (Rouse *et al.*, 1973a).

Indeks NDVI dihitung dari pengukuran individual ini sebagai berikut:

$$\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{Red}) / (\text{NIR} + \text{Red})$$

Dimana Red dan NIR merupakan pengukuran reflektansi spektrum di daerah merah (visibel) dan dekat-inframerah. Reflektansi spektral ini sendiri adalah rasio antara radiasi terpantul dengan radiasi datang di masing-masing band spektral secara individual, maka mereka bernilai antara 0,0 dan 1,0. Nilai NDVI bervariasi antara -1.0 dan +1.0. Perlu dicatat bahwa NDVI secara fungsional, setara dengan rasio inframerah / merah (NIR / VIS). Keuntungan dari NDVI melalui rasio inframerah / merah karena itu umumnya terbatas pada setiap linieritas hubungan fungsionalnya dengan sifat-sifat vegetasi (misalnya biomassa). Rasio yang sederhana (tidak seperti NDVI) selalu positif, yang mungkin memiliki keuntungan praktis, tetapi juga memiliki kisaran matematis yang tak terbatas (0 hingga tak terbatas), yang dapat menjadi kerugian kurang-praktis dibandingkan dengan NDVI. Juga dalam hal ini, perhatikan bahwa istilah VIS dalam pembilang NDVI hanya mengukur hasilnya, sehingga menciptakan nilai negatif. NDVI secara fungsional dan linier setara dengan rasio NIR / (NIR + VIS), yang berkisar dari 0 hingga 1; sehingga tidak pernah negatif atau tidak terbatas jangkauannya (Crippen, 1990). Tetapi konsep yang paling penting dalam pemahaman rumus aljabar NDVI adalah bahwa ini adalah transformasi rasio spektral (NIR / VIS), dan tidak memiliki hubungan fungsional dengan perbedaan spektral (NIR-VIS) (Tucker, 1979).

Secara umum, jika ada lebih banyak radiasi yang dipantulkan dalam panjang gelombang dekat-inframerah daripada dalam panjang gelombang yang terlihat, maka vegetasi dalam piksel itu cenderung padat dan mungkin mengandung beberapa jenis hutan. Pekerjaan berikutnya telah menunjukkan bahwa NDVI secara langsung berkaitan dengan kapasitas fotosintesis dan karenanya penyerapan energi kanopi tanaman (Sellers, 1985; Myneni *et al.*, 1995).

NDVI telah banyak digunakan dalam aplikasi yang awalnya tidak dirancang. Menggunakan NDVI untuk penilaian kuantitatif (dibandingkan dengan

survei kualitatif seperti yang ditunjukkan di atas) menimbulkan sejumlah masalah yang mungkin sangat membatasi kegunaan sebenarnya dari indeks ini jika mereka tidak ditangani dengan benar.

Secara matematis, jumlah dan selisih dari dua saluran spektral mengandung informasi yang sama dengan data asli, tetapi perbedaannya sendiri (atau perbedaan normalisasi) hanya membawa sebagian dari informasi awal. Apakah informasi yang hilang itu relevan atau berharga bagi pengguna untuk dinilai, tetapi penting untuk memahami bahwa produk NDVI hanya membawa sebagian kecil dari informasi yang tersedia dalam data reflektansi spektral asli.

Pengguna NDVI cenderung memperkirakan sejumlah besar properti vegetasi dari nilai indeks ini. Contoh-contoh umum termasuk Indeks Area Daun, biomassa, konsentrasi klorofil dalam daun, produktivitas tanaman, tutupan vegetasi fraksional, akumulasi curah hujan, dan lain-lain. Hubungan semacam ini sering diperoleh dengan menghubungkan nilai-nilai NDVI ruang-turunan dengan nilai-nilai yang diukur dari tanah dari variabel-variabel ini. Pendekatan ini menimbulkan isu-isu lebih lanjut terkait dengan skala spasial yang terkait dengan pengukuran, karena sensor satelit selalu mengukur kuantitas radiasi untuk daerah yang jauh lebih besar daripada yang dicuplik oleh instrumen lapangan. Lebih jauh lagi, tentu saja tidak logis untuk mengklaim bahwa semua hubungan ini bertahan sekaligus, karena itu akan menyiratkan bahwa semua sifat lingkungan ini akan secara langsung dan tegas terkait di antara mereka.

Pengukuran reflektansi harus relatif terhadap area yang sama dan diperoleh secara bersamaan. Ini mungkin tidak mudah dicapai dengan instrumen yang memperoleh saluran spektral yang berbeda melalui kamera yang berbeda atau pesawat fokus. Kesalahan pendaftaran gambar-gambar spektral dapat menyebabkan kesalahan besar dan hasil yang tidak dapat digunakan (Tucker *et al.*, 2005).

Penghitungan nilai NDVI ternyata peka terhadap sejumlah faktor yang mengganggu termasuk:

Efek atmosfer: Komposisi aktual atmosfer (khususnya berkenaan dengan uap air dan aerosol) dapat secara signifikan mempengaruhi pengukuran yang dilakukan di ruang angkasa. Oleh karena itu, yang terakhir dapat disalahartikan jika

efek ini tidak diperhitungkan dengan benar (seperti halnya ketika NDVI dihitung langsung berdasarkan pengukuran mentah) (Kaufman dan Tanre, 1992; Asrar dan Myneni, 1993; Myneni dan Asrar, 1994).

Awan: Awan yang dalam (sangat tebal) mungkin cukup terlihat dalam citra satelit dan menghasilkan nilai NDVI karakteristik yang memudahkan penyaringannya. Namun, awan tipis (seperti cirrus di mana-mana), atau awan kecil dengan dimensi linier khas yang lebih kecil dari diameter daerah yang benar-benar diambil sampel oleh sensor, dapat secara signifikan mencemari pengukuran. Demikian pula, bayangan awan di area yang tampak jelas dapat memengaruhi nilai NDVI dan menyebabkan salah tafsir. Pertimbangan ini diminimalkan dengan membentuk gambar komposit dari gambar harian atau hampir setiap hari (Holben, 1986). Citra NDVI komposit telah menyebabkan sejumlah besar aplikasi vegetasi baru di mana NDVI atau kapasitas fotosintesis bervariasi dari waktu ke waktu (Pinty dan Verstraete, 1992).

Efek tanah: Tanah cenderung menjadi gelap ketika basah, sehingga reflektansi mereka adalah fungsi langsung dari kandungan air. Jika respon spektral terhadap kelembaban tidak persis sama pada dua pita spektrum, NDVI suatu daerah dapat tampak berubah sebagai akibat dari perubahan kelembaban tanah (pengendapan atau penguapan) dan bukan karena perubahan vegetasi (Richardson dan Wiegand, 1977; Huete, 1988).

Efek anisotropik: Semua permukaan (baik alami atau buatan manusia) memantulkan cahaya berbeda dalam arah yang berbeda, dan bentuk anisotropi ini umumnya tergantung pada spektrum, bahkan jika kecenderungan umum mungkin serupa pada kedua pita spektral ini. Akibatnya, nilai NDVI mungkin tergantung pada anisotropi tertentu dari target dan pada geometri sudut iluminasi dan observasi pada saat pengukuran, dan karenanya pada posisi target yang menarik dalam petak instrumen atau waktu berlalunya satelit di situs. Ini sangat penting dalam menganalisis data AVHRR karena orbit dari platform NOAA cenderung hanyut dalam waktu. Pada saat yang sama, penggunaan gambar komposit NDVI meminimalkan pertimbangan ini dan telah menyebabkan rangkaian data time series NDVI global yang mencakup lebih dari 25 tahun.

Efek spektral: Karena setiap sensor memiliki karakteristik dan penampilannya sendiri, khususnya sehubungan dengan posisi, lebar dan bentuk pita spektral, rumus tunggal seperti NDVI menghasilkan hasil yang berbeda ketika diterapkan pada pengukuran yang diperoleh oleh instrumen yang berbeda (Trishchenko, Cihlar dan Li, 2002; Trishchenko *et al.*, 2002a; Trishchenko, 2009).

Suhu Permukaan Tanah (LST) adalah suhu kulit-radiatif permukaan tanah, yang diukur dengan bantuan sensor jarak jauh. Diperkirakan dari suhu kecerahan *Top-of-Atmosphere* dari saluran spektral inframerah pada konstelasi satelit geostasioner (Meteosat Generasi Kedua, GOES, MTSAT / Himawari). Estimasi lebih lanjut tergantung pada albedo, tutupan vegetasi dan kelembaban tanah.

LST merupakan campuran dari suhu vegetasi dan suhu tanah yang terbuka. Karena keduanya merespon dengan cepat terhadap perubahan radiasi matahari yang datang karena tutupan awan dan modifikasi oleh adanya beban aerosol dan variasi pencahayaan diurnal, LST juga menampilkan variasi cepat. Pada gilirannya, LST mempengaruhi pembagian energi antara tanah dan vegetasi, dan menentukan suhu udara di permukaan tanah.

Suhu permukaan tanah adalah seberapa panas “permukaan” bumi di lokasi tertentu. Dari sudut pandang satelit, “permukaan” adalah apapun yang dilihatnya ketika ia melihat melalui atmosfer ke tanah. Permukaan ini dapat berupa salju dan es, rumput di halaman rumah, atap sebuah bangunan, atau dedaunan di kanopi hutan. Dengan demikian, suhu permukaan tanah tidak sama dengan suhu udara yang biasanya dilaporkan dalam laporan cuaca harian.

Peta yang ditampilkan di sini dibuat menggunakan data yang dikumpulkan selama siang hari oleh *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) pada satelit Terra NASA. Suhu berkisar dari -25 derajat Celsius (biru) hingga 45 derajat Celcius (merah muda kuning). Pada garis lintang menengah ke atas, suhu permukaan tanah dapat bervariasi sepanjang tahun, tetapi daerah khatulistiwa cenderung tetap hangat secara konsisten, dan Antartika dan Greenland tetap dingin secara konsisten. Ketinggian memainkan peran yang jelas dalam menentukan suhu permukaan tanah.

Para ilmuwan memantau suhu permukaan tanah karena kehangatan naik dari lanskap bumi yang mempengaruhi (dan dipengaruhi oleh) pola cuaca dan iklim

dunia. Para ilmuwan ingin memantau bagaimana peningkatan gas rumah kaca di atmosfer mempengaruhi suhu permukaan tanah, dan bagaimana peningkatan suhu permukaan tanah mempengaruhi gletser, lapisan es, permafrost, dan vegetasi di ekosistem Bumi.

Petani komersial juga dapat menggunakan peta suhu permukaan tanah untuk mengevaluasi kebutuhan air untuk tanaman mereka selama musim panas, ketika mereka rentan terhadap stres panas. Sebaliknya, di musim dingin, peta-peta ini dapat membantu petani jeruk untuk menentukan di mana dan kapan kebun jeruk bisa terkena embun beku.

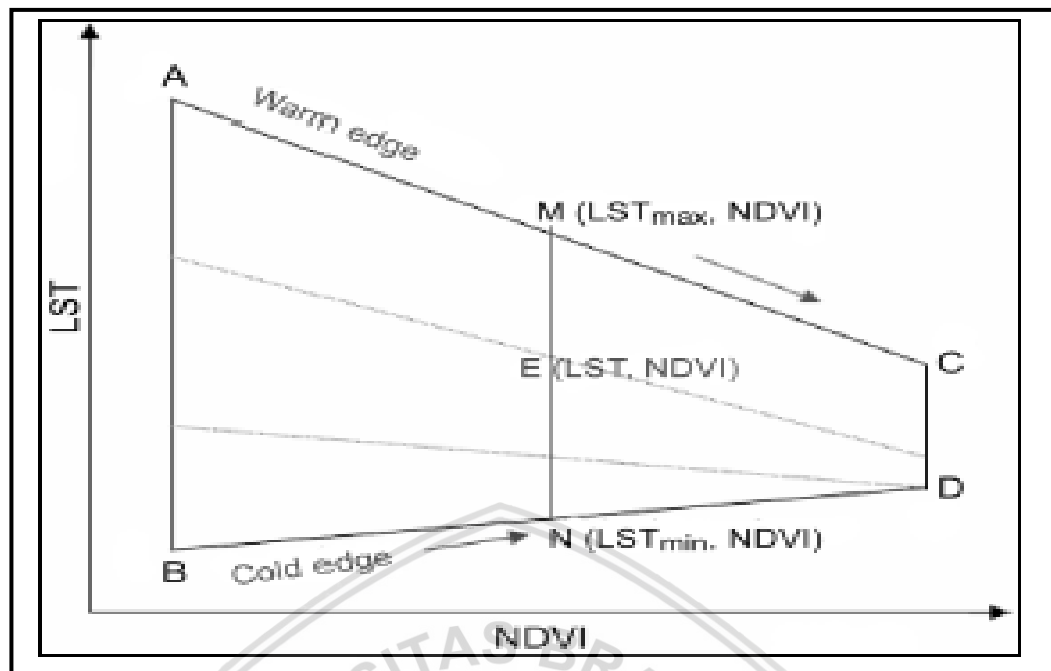
Suhu permukaan tanah (LST) adalah salah satu parameter kunci dalam fisika proses permukaan tanah dari skala lokal hingga global. Pentingnya LST semakin diakui dan ada minat yang kuat dalam mengembangkan metodologi untuk mengukur LST dari luar angkasa. Namun, mengambil LST masih merupakan tugas yang menantang karena masalah pengambilan LST tidak tepat. Makalah ini meninjau status terkini dari algoritma penginderaan jarak jauh terpilih untuk mengestimasi LST dari data inframerah termal (TIR). Latar belakang teoritis singkat dari subjek disajikan bersama dengan survei dari algoritma yang digunakan untuk memperoleh LST dari pengukuran TIR berbasis ruang. Diskusi berfokus pada data TIR yang diperoleh dari satelit yang mengorbit polar karena penggunaannya yang luas, penerapan global dan resolusi spasial yang lebih tinggi dibandingkan dengan satelit geostasioner.

Suhu permukaan tanah (LST) berasal dari band TIRS (*Thermal Infrared Sensor*) juga telah diketahui untuk menyediakan informasi vital dan bermanfaat tentang keadaan permukaan tanah dan secara luas diimplementasikan dalam merumuskan energi dan anggaran untuk air di permukaan (Weng, Lu dan Schubring, 2004; Gutman, 1990 dalam Karnieli *et al.*, 2010). Berdasarkan konteks tersebut, LST berfungsi sebagai *proxy* untuk menilai evapotranspirasi, cekaman air vegetasi, kelembaban tanah, dan inersia termal (Moran *et al.*, 1994 dalam Karnieli *et al.*, 2010). LST secara umum diartikan sebagai suhu kulit tanah. Pada tanah kosong, LST adalah suhu permukaan tanah. Pada tanah dengan vegetasi yang padat, LST dapat dilihat sebagai suhu permukaan kanopi dari vegetasi, dan untuk tanah yang mempunyai vegetasi jarang LST ditetapkan oleh suhu dari kanopi vegetasi,

badan vegetasi, dan permukaan tanah (Carlson *et al.*, 1994; Qin, Karnieli dan Berliner, 2001; Qin dan Karnieli, 1999 *dalam* Parida *et al.*, 2008).

Hasil-hasil penelitian menunjukkan adanya hubungan antara LST dan NDVI di daerah dimana pertumbuhan vegetasi berlangsung dengan energi atau suhu yang beragam (Van De Griend dan Owe, 1993; Van Wijk *et al.*, 2003; Patel *et al.*, 2009). Beberapa peneliti sepakat melalui eksperimen pemanasan di daerah yang memiliki lintang tinggi, bahwa pemanasan umumnya mendorong peningkatan biomassa tanaman, tinggi, penutupan, dan produktivitas primer bersih. Pada daerah seperti itu, nilai LST yang lebih tinggi mencerminkan kondisi yang lebih kondusif untuk perkembangan tanaman melalui berbagai proses biokimia (Badeck *et al.*, 2004). Peningkatan LST juga mendorong proses di dalam tanah, seperti aktivitas mikroba, ketersediaan nitrogen, dan serapan hara (Chapin *et al.*, 1995). Kombinasi dari NDVI dan LST menyediakan informasi baik mengenai status vegetasi dan status kelembaban permukaan (McFeeters, 1996; Gillies, Kustas dan Humes, 1997; Parida *et al.*, 2008).

Wang *et al.* (2004 *dalam* Parida *et al.*, 2010) menyimpulkan bahwa informasi kekeringan tidak terkait erat dengan data NDVI, dan indeks kekeringan berdasarkan NDVI tidak peka terhadap status air tanah. Indeks kekeringan berdasarkan suhu permukaan lahan (LST) harus lebih efisien daripada yang hanya didasarkan pada NDVI (Liu dan Kogan, 1996). Indeks kekeringan berdasarkan NDVI gagal dalam pemantauan kekeringan karena NDVI adalah indikator cekaman air yang agak konservatif, yang berarti vegetasi akan tetap hijau setelah cekaman air awal (Sandholt, Rasmussen, dan Andersen, 2002; Wan, Wang dan Li, 2004; Brown, *et al.*, 2008). Sebaliknya, LST lebih sensitif terhadap tekanan air (Goetz, 1997 *dalam* Parida *et al.*, 2008; Chen *et al.*, 2011). Kombinasi NDVI dan LST memberikan informasi tentang status vegetasi dan kelembaban. *Scatter plot* suhu dan indeks vegetasi sering menampilkan bentuk yang triangular atau trapesium yang disebut NDVI-LST jika berbagai macam tutupan vegetasi fraksional dan kadar air tanah diwakili. Indeks vegetasi dan suhu permukaan merupakan parameter penting untuk menggambarkan kondisi kering/basah dari permukaan tanah (Wan *et al.*, 2004).



Gambar 3. *Scatter plot* pada hubungan NDVI-LST dan definisi dari SMI (Parida *et al.*, 2008)

Semua jenis tutupan lahan jatuh dalam trapesium dari ruang LST-NDVI. Bagian atas trapesium A-C, mewakili kondisi kering dan disebut warm edge atau tepi hangat, merupakan batas atas suhu permukaan untuk penutup vegetasi tertentu. Batas bawah trapesium B-D, berkaitan dengan kondisi air yang baik atau sesuai, dan disebut cold edge atau tepi dingin (Parida *et al.*, 2008).

Sesuai dengan konsep yang diilustrasikan pada Gambar 3, data LST dan NDVI digabungkan untuk membentuk sebuah indeks untuk mengidentifikasi kelembaban tanah. *Soil Moisture Index* (SMI) berdasarkan lokasi piksel dalam LST-NDVI didefinisikan dalam *scatter plot*. Selanjutnya, SMI yang memiliki nilai 0 berada pada tepi hangat dan nilai 1 berada pada tepi dingin itu disusun. SMI untuk nilai piksel E (LST, NDVI) di ruang LST-NDVI diperkirakan sebagai proporsi antara garis M – E dan M – N (Zhan *et al.*, 2004 dalam Parida *et al.*, 2008).

SMI didasarkan pada mengetahui nilai-nilai titik layu dan kapasitas lapang pada semua titik. Kapasitas lapangan didefinisikan sebagai kandungan air tanah lembab setelah dikeringkan dari kejenuhan oleh gravitasi selama beberapa hari (Miller *et al.*, 1990 dalam Hunt *et al.*, 2008). Gerrard (2000 dalam Hunt *et al.*, 2008), menyatakan bahwa ketika kekuatan menahan air ke partikel tanah diimbangi oleh tarikan gravitasi, maka tanah berada pada kondisi kapasitas lapang. Kapasitas

lapang juga sering dinyatakan sebagai kandungan air di mana air tanah dijerap dengan potensial sebesar -33 kPa, meskipun di tanah berpasir bisa serendah -10 kPa (Marshall *et al.*, 1996 dalam Hunt *et al.*, 2008). Kapasitas lapang dapat ditentukan melalui analisis laboratorium dengan menjenuhkan tanah dan kemudian memasukkan ke *pressure plate* pada hisapan sebesar -33 kPa ($-0,333$ bar). Kandungan air tanah pada titik ini adalah kapasitas lapangan (FAO, 1989 dalam Hunt *et al.*, 2008).

Setelah air dihilangkan dari tanah, kekuatan yang menahan molekul air pada permukaan partikel tanah menjadi semakin kuat dan pada kondisi titik layu, akar tanaman tidak lagi dapat mengekstrak air dalam jumlah yang mencukupi kebutuhannya (Gerrard, 2000 dalam Hunt *et al.*, 2008). Titik layu permanen biasanya didefinisikan sebagai kandungan air tanah dimana tanaman menjadi layu dan tidak dapat pulih kembali. Titik layu juga merupakan kandungan air dimana air tanah dipegang pada potensial -1500 kPa (Tolk, 2003 dalam Hunt *et al.*, 2008). *Pressure plate* dapat digunakan di laboratorium untuk menentukan titik layu dari tanah dengan menerapkan hisapan sebesar -1500 kPa ke tanah. Kandungan air tanah pada titik ini adalah titik layu (FAO, 1989 dalam Hunt *et al.*, 2008).

Titik layu merupakan parameter penting yang menunjukkan penghambatan proses transpirasi tanaman, hal ini sangat penting untuk pengelolaan infrastruktur hijau. Generalisasi titik layu sangat penting untuk menganalisis kinerja hidrologi infrastruktur hijau (misalnya atap hijau, sistem biofiltrasi) dan infrastruktur ekologi (lahan basah). Titik layu dari berbagai spesies diketahui dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti kandungan tanah liat, bahan organik tanah, kemiringan kurva karakteristik air tanah pada titik infleksi (yaitu, indeks s) dan dimensi fraktal (Garg *et al.*, 2017). Oleh karena itu, kegunaan praktisnya menjadi landasan yang kuat untuk mengembangkan model yang mengukur titik layu dengan respek terhadap faktor deterministik. Penelitian Gark *et al.* (2017) mengkaji model titik layu berdasarkan pendekatan optimasi pemrograman Genetika (GP) dengan memperhatikan variabel input (kandungan tanah liat, bahan organik tanah, s -indeks dan dimensi fraktal) untuk berbagai jenis tanah. Model GP ini dikembangkan lebih lanjut dan diselidiki sensitivitasnya dan analisis parametrik untuk menemukan hubungan antara titik layu dengan variabel input yang dominan. Berdasarkan model

yang baru dikembangkan ini, ditemukan bahwa titik layu meningkat dengan dimensi fraktal saat berperilaku non-linear dengan memperhatikan kandungan liat dan kandungan bahan organik (Garg *et al.*, 2017). Efek gabungan dari kandungan liat dan bahan organik ternyata sangat mempengaruhi titik layu. Hal ini menyiratkan bahwa konsep titik layu tidak boleh digeneralisasikan pada berbagai kondisi tanah.



III. METODE PENELITIAN

3.1. Tempat dan Waktu Penelitian

Kegiatan penelitian dilaksanakan di Kebun Percobaan Balai Penelitian Tanaman Pemanis dan Serat Karangploso, Kabupaten Malang pada bulan Desember 2017 sampai dengan April 2018.

Kegiatan penelitian dibagi menjadi dua kegiatan yaitu, kegiatan pembuatan peta pendugaan indeks kelembaban tanah (SMI) dan analisis laboratorium kelembaban tanah. Kegiatan pembuatan peta meliputi pembuatan peta survei dan analisis SMI menggunakan citra landsat 8 OLI/TIRS. Analisis laboratorium kelembaban tanah dilakukan di Laboratorium Fisika Tanah, Jurusan Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya.

3.2. Alat dan Bahan

3.2.1. Alat

Alat yang digunakan untuk pengolahan data adalah laptop. Alat yang digunakan untuk pengambilan sampel tanah utuh yaitu ring sampel, ring master, balok kayu, pisau lapang, sekop, palu, kantong plastik, kotak kayu/karton, gabus, kertas label, dan spidol OHP. Kegiatan analisis kelembaban tanah (pF 0, pF 2,54, dan pF 4,2) menggunakan seperangkat alat, terdiri atas kompresor otomatis, tiga buah panci yang disebut *pressure plate apparatus*, satu buah panci yang disebut *pressure membrane apparatus*, kompresor, piringan keramik, neraca analitik EL, oven EL, nampan, pisau, ring, kain kasa, karet, cawan, sendok, botol plastik. Alat untuk mendokumentasikan kegiatan penelitian yaitu kamera. Alat untuk mengolah data spasial dan citra menggunakan *software* ArcGis 10.3, *software* IBM SPSS Statistics 21, *software* Google Earth Pro 7.3.0.3832

3.2.2. Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah

a. Tanah

Sampel tanah yang digunakan untuk analisis kelembaban tanah adalah sampel tanah utuh (tidak terganggu), pada setiap horizon di setiap profil titik SPL (satuan peta lahan).

b. Citra Landsat 8 OLI/TIRS

Data Citra Landsat 8 OLI/TIRS dengan path: 118, row: 66 memiliki format *Geotiff, tahun perekaman 2016-2018. Tanggal pengambilan citra dapat dilihat di Tabel 2.

Tabel 1. Pengambilan Citra Landsat 8 OLI/TIRS

	Path/row	Tanggal pengambilan citra
Landsat 8 OLI/TIRS	118/66	4 Juli 2016
	118/66	20 Mei 2017
	118/66	16 Februari 2018

c. Peta Rupa Bumi Indonesia

Peta Rupa Bumi Indonesia (RBI) skala 1:25.000 didapatkan dari sentra peta Bakosurtanal untuk lembar Malang 1608-112 yang akan digunakan untuk pembuatan peta administrasi kecamatan Karangploso, Kabupaten Malang sekaligus untuk membuat peta lokasi penelitian Kebun Percobaan Balittas Karangploso.

d. Peta Geologi

Peta Geologi yang digunakan yaitu Peta Geologi skala 1:100.000 lembar Malang 1608-1. Peta Geologi merupakan bahan yang digunakan untuk mengetahui batuan induk penyusun tanah di wilayah penelitian.

e. *Digital Elevation Model* (DEM) SRTM 30M

DEM SRTM dengan resolusi 30 m didapatkan dari website earthexplorer.usgs.gov untuk pembuatan *hillshade*, DEM yang digunakan memiliki Latitude 7.9666, dan Longitude 112.6326.

3.3. Pelaksanaan Penelitian

Pada penelitian ini pelaksanaan penelitian dilakukan dengan 5 tahapan kegiatan. Tahap pertama adalah kegiatan pra survei, tahap kedua kegiatan pra-pengolahan citra dan pengolahan citra (*image processing*), tahap ketiga kegiatan pengambilan data lapangan (*ground check*), tahap keempat kegiatan analisis laboratorium, dan tahap kelima adalah kegiatan analisis data.

Kegiatan pengambilan data lapangan (*ground check*) dilakukan di Kebun Percobaan Balittas Karangploso, Kabupaten Malang. Analisis laboratorium dilakukan di Laboratorium Fisika Tanah, Jurusan Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya.

3.3.1. Kegiatan Pra-Survei

Pada kegiatan Pra-Survei dilakukan:

1. Pembuatan surat perjanjian kerjasama terhadap pihak Balai Penelitian Tanaman Pemanis dan Serat sekaligus mengurus perizinan penelitian,
2. Mengumpulkan peta dasar dan data-data sekunder (DEM SRTM 30M, Peta Geologi lembar Malang 1608-1 skala 1:100.000, Peta Rupa Bumi Indonesia skala 1:25.000 lembar Malang 1608-112, Citra Landsat 8 OLI/TIRS tahun perekaman 2016-2018).
3. Menyiapkan peta kerja atau peta survei sebagai acuan penentuan titik pengamatan dan pengambilan sampel, yang dilakukan dengan pembuatan Satuan Peta Lahan (SPL).

3.3.2. Pra-pengolahan Citra dan Pengolahan Citra

Pada tahap kedua pelaksanaan penelitian dilakukan 2 proses yaitu, proses pertama adalah pra-pengolahan citra selanjutnya proses kedua adalah pengolahan citra.

1. Pra-pengolahan Citra

Tahap pertama yang dilakukan sebelum pengolahan citra landsat 8 adalah pra-pengolahan citra. Pra-pengolahan citra landsat 8 yang dilakukan berupa koreksi radiometrik dan pemotongan wilayah citra. Koreksi radiometrik dilakukan untuk memperbaiki nilai piksel yang terdistorsi karena hasil dari sensor, radiasi matahari, atmosfer, dan efek topografi. Koreksi radiometrik dapat mengacu pada satu tahap pra-pengolahan atau beberapa tahap yang berkaitan untuk sensor, radiasi matahari, atmosfer, dan efek topografi (Young *et al.*, 2017). Macam koreksi radiometrik yang dilakukan adalah konversi *ToA Radiance* dan konversi *ToA Brightness Temperature*.

a. Konversi *Top of Atmosphere (ToA) Radiance*

Konversi ke *ToA radiance* (sinar) adalah tahap pra-pengolahan dimana nilai DN (*digital number*) dikonversikan kembali ke *radiance* (sinar) dengan menggunakan faktor pengubah yaitu koefisien kalibrasi yang berhubungan dengan masing-masing band untuk setiap sensor. Faktor pengubah terdapat pada folder metadata di setiap citra. Konversi ini adalah tahap yang penting sebelum tahap koreksi tambahan untuk citra lainnya dilakukan (Young *et al.*, 2017). Persamaan formulanya adalah:

$$L\lambda = MLQ_{cal} + AL \quad (2)$$

Keterangan :

L_{λ} = ToA *spectral radiance* (Watts/(m² * srad * μ m))

M_L = Faktor pengubah *Band-specific multiplicative* dari folder metadata (RADIANCE_MULT_BAND_x, dimana x adalah nomor band)

A_L = Faktor pengubah *Band-specific additive* dari folder metadata (RADIANCE_ADD_BAND_x, dimana x adalah nomor band)

$QCAL$ = Nilai *digital number* band ke-i

Nilai spektral *radiance* dan kuantitas kalibrasi piksel untuk saluran citra landsat yang terdapat di file metadata terdapat pada Tabel 3.

Tabel 2. Landsat spektral *radiance* (L_{min} dan L_{max}) dan nilai piksel kuantitas kalibrasi (Q_{calmin} dan Q_{calmax})

Landsat 8 OLI/TIRS	<i>Landsat spectral radiance (L_{min} and L_{max})</i>		<i>Quantized calibration pixel ($Q_{cal min}$ and $Q_{cal max}$) values</i>	
	<i>Radiance minimum</i>	<i>Radiance maximum</i>	<i>Radiance minimum</i>	<i>Radiance maximum</i>
Band 10	0.10033	22.00180	1	65535
Band 11	0.10033	22.00180	1	65535

b. Konversi *Top of Atmosphere (ToA) Brightness Temperature*

Data dari TIRS (band 10 dan band 11) dapat dikonversi menjadi spektral *radiance* ke *brighness temperature* menggunakan konstanta termal yang disediakan di folder metadata. *Brightness temperature* (BT) merupakan suhu efektif yang dapat ditangkap oleh satelit dibawah asumsi dari kesatuan emisivitas. Nilai dari BT digunakan untuk mengidentifikasi potensial awan (USGS, 2016). Persamaan formulanya adalah:

$$T = \frac{K2}{\ln(\frac{K1}{L_{\lambda}} + 1)} \quad (3)$$

Keterangan :

T = TOA *brightness temperature* (K)

L_{λ} = TOA *spectral radiance* (Watts/(m² * srad * μ m))

K1 = Band-spezifik konstanta pengubah thermal dari metadata (K1_CONSTANT_BAND_x, dimana x adalah nomor band)

K2 = Band-spezifik konstanta pengubah termal dari metadata

(K2_CONSTANT_BAND_x, dimana x adalah nomor band)

Nilai konstanta pengubah termal untuk saluran citra landsat yang terdapat di file metadata terdapat pada Tabel 4.

Tabel 3. Landsat 8 TIRS *Thermal constant*

Landsat 8	K1	K2
Band 10	774.8853	1321.0789
Band 11	480.8883	1201.1442

c. Pemotongan citra dengan lokasi penelitian

Pemotongan citra landsat 8 OLI/TIRS dengan lokasi penelitian yaitu di Kebun Percobaan Balittas Karangploso perlu dilakukan untuk pengolahan data citra satelit, dan memudahkan dalam memproses data citra satelit karena ukuran citra yang besar.

2. Pengolahan Citra

Pengolahan citra terdapat 3 proses yaitu, pertama analisis *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), kedua analisis *Land Surface Temperature* (LST), dan proses ketiga atau terakhir yaitu analisis *Soil Moisture Index* (SMI).

a. Analisis *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI)

NDVI adalah indeks vegetasi yang digunakan untuk mengetahui besaran tingkat kehijauan vegetasi yang diperoleh dari pengolahan digital band sinar merah (RED) dan band inframerah dekat (NIR). Transformasi didapatkan nilai dengan rentang -1,0 sampai 1,0. Penentuan kelas indeks vegetasi pada algoritma NDVI mengacu pada peraturan Departemen Kehutanan tahun 2003 yang membagi NDVI menjadi 3 kelas yaitu; jarang, sedang, tinggi yang terdapat pada Tabel 5.

Tabel 4. Kisaran Tingkat Kerapatan NDVI (Departemen Kehutanan, 2005)

Kelas	Kisaran NDVI	Tingkat Kerapatan
1	-1,0 s.d 0,32	Jarang
2	0,32 s.d 0,42	Sedang
3	>0,42 s.d 1,0	Tinggi

Adapun persamaan NDVI (Rouse *et al.*, 1974 dalam Potic, Bugarski, dan Matic-Varenica, 2017):

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{RED}}{\rho_{NIR} + \rho_{RED}} \quad (4)$$

Keterangan :

- ρ_{NIR} = nilai reflektan saluran inframerah dekat (band 5)
 ρ_{Red} = nilai reflektan saluran merah (band 4)

b. Analisis *Land Surface Temperature* (LST)

Land Surface Temperature (LST) diperoleh dari band TIRS (band 10 dan band 11) dan diketahui dapat menyediakan informasi vital dan berguna untuk permukaan tanah (Moran *et al.*, 1994 dalam Karnieli *et al.*, 2010). Berbagai variasi LST pada ruang dan waktu, diukur dengan satelit penginderaan jauh dapat digunakan untuk estimasi dari banyak variabel geofisik seperti; evapotranspirasi, cekaman air vegetasi, dan kelembaban tanah (Yue *et al.*, 2007). Adapun persamaan untuk mendapatkan LST:

(a) Menentukan nilai PV (*Vegetation fraction*)

$$PV = (NDVI - NDVI_{\min}) / (NDVI_{\max} - NDVI_{\min})^2 \quad (5)$$

Dimana, $NDVI_{\max}$ adalah nilai piksel dari indeks vegetasi (NDVI) tertinggi, dan $NDVI_{\min}$ adalah nilai piksel dari indeks vegetasi (NDVI) terendah.

(b) Menentukan nilai Emisivitas (e)

$$e = 0,004pv + 0,986 \quad (6)$$

(c) Menentukan C_2 (Weng *et al.*, dalam Potic *et al.*, 2017)

$$c_2 = h * c / s \quad (7)$$

Keterangan :

h = Konstanta Plank's ($6.626 \cdot 10^{-34}$ J s)

c = Kecepatan cahaya ($2.998 \cdot 10^8$ m/s)

s = Konstanta Boltzmann ($1.38 \cdot 10^{-23}$ J/K)

(d) Menentukan LST (K) (Weng *et al.*, dalam Potic *et al.*, 2017)

$$LST = T_b / 1 + (\lambda * T_b / c_2) * \ln(\epsilon) \quad (8)$$

Keterangan :

T_b = *Satellite Brightness Temperature*, Persamaan (3)

λ = Panjang gelombang dari sinar yang dipancarkan

C_2 = $1.4388 \cdot 10^{-2}$ mK,

Hasil suhu permukaan tanah (LST) pada Persamaan 8 didapatkan hasil suhu permukaan tanah dalam satuan Kelvin, untuk merubah data menjadi °C

perlu dikonversi dengan pengurangan -273.15 (Vani, Kumar, dan Ravibabu, 2018) pada Persamaan 7.

c. Analisis *Soil Moisture Index* (SMI)

Indeks kelembaban tanah atau *Soil Moisture Index* (SMI), didasarkan pada parameterisasi empiris hubungan antara suhu permukaan tanah (LST) dan indeks vegetasi (NDVI) dan dikalkulasikan dengan persamaan berikut (Parida *et al.*, 2008):

$$SMI = (LST_{max} - LST) / (LST_{max} - LST_{min}) \quad (9)$$

Dimana, LST_{max} adalah nilai piksel dari LST tertinggi, dan LST_{min} adalah nilai piksel dari LST terendah.

Penelitian yang dilakukan oleh Potic *et al.*, (2017) mengklasifikasikan SMI berkisar antara 0 sampai dengan 1 yang dapat menggambarkan tingkat dari kelembaban tanah. Penentuan interval kelas untuk SMI hasil pengolahan citra menggunakan Rumus Kingma (Kingma, 1991 dalam Wismarini, Sunardi, dan Y. Anis, 2014) yang bentuknya seperti pada Persamaan (9) berikut ini:

$$Ki = \frac{X_t - X_r}{k} \quad (10)$$

Keterangan :

Ki = Kelas Interval

X_t = Data Tertinggi

X_r = Data Terendah

k = Jumlah Kelas yang diinginkan

Berdasarkan Rumus Kingma dengan kelas interval kelembaban tanah 5 kelas, yaitu; sangat rendah, rendah, sedang, tinggi, sangat tinggi, didapatkan kisaran nilai indeks kelembaban tanah (SMI) pada Tabel 6.

Tabel 5. Klasifikasi *Soil Moisture Index* (SMI)

Kelas	Kisaran SMI	Tingkat Kelembaban
1	0 – 0,2	Sangat Rendah
2	0,2 – 0,4	Rendah
3	0,4 – 0,6	Sedang
4	0,6 – 0,8	Tinggi
5	0.8 - 1	Sangat Tinggi

3.3.3. Pengambilan Data Lapang

Penelitian ini menggunakan sampel tanah utuh yang pengambilannya dilakukan pada tanggal 1-27 Februari 2018. Sampel tanah utuh merupakan sampel tanah yang diambil dari lapisan tanah tertentu dalam keadaan tidak terganggu, sehingga kondisinya hampir menyamai kondisi di lapangan. Pengambilan sampel tanah utuh dengan menggunakan ring sampel dilakukan di setiap horizon tanah, pada saat pembuatan profil tanah di setiap SPL (satuan peta lahan). Sampel tanah tersebut digunakan sebagai penetapan distribusi pori pada berbagai tekanan (pF 0, pF 2,54, dan pF 4,2) untuk indeks kelembaban tanah (SMI).

3.3.4. Kegiatan Analisis Laboratorium

Sampel tanah yang diambil berdasarkan titik pengamatan kemudian akan dianalisis di Laboratorium Fisika Tanah, FP UB. Metode analisis untuk mengetahui kadar air sampel pada pF 0, pF 2,5, dan pF 4,2 adalah dengan menggunakan metode gravimetrik.

Sebelum menghitung *Soil Moisture Index* (SMI) perlu diketahui fraksi air tersedia, dengan rumus (Hunt *et al.*, 2008):

$$FAW = \frac{(\theta - \theta_{WP})}{(\theta_{FC} - \theta_{WP})} \quad (11)$$

Keterangan :

FAW = fraksi air tersedia

θ = kadar air tanah volumetrik

θ_{WP} = kadar air volumetrik dalam kondisi titik layu permanen

θ_{FC} = kadar air volumetrik dalam kondisi kapasitas lapang

Setelah diketahui fraksi air tersedia baru dapat dimasukkan kedalam rumus kelembaban tanah (SMI), dengan rumus (Hunt *et al.*, 2008):

$$SMI = -5 + 10 FAW \quad (12)$$

Pengkelasan indeks kelembaban tanah (SMI) hasil lapang bernilai dari -5 sampai 5 dengan perubahan FAW 0 sampai 1, dengan nilai 5 mewakili θ kadar air pada kondisi kapasitas lapang dan nilai -5 mewakili θ kadar air pada kondisi titik layu permanen.

3.3.5. Analisis Data

Analisis kelembaban tanah penelitian digunakan untuk mengetahui hubungan antara hasil transformasi indeks kelembaban tanah menggunakan *Soil*

Moisture Index (SMI) hasil pengolahan citra landsat dengan sampel yang telah diambil dilapangan yang kemudian dianalisis di laboratorium, dengan variabel-variabel yang berhubungan yaitu antara nilai spektral, penutup lahan, dan suhu permukaan dengan kelembaban tanah. Analisis data dilakukan secara statistik yaitu regresi linear dan menggunakan aplikasi statistik SPSS untuk mengetahui signifikansi data.

3.4. Pengamatan dan Pengumpulan Data

Penelitian ini dilakukan di lapangan dan di laboratorium. Data citra landsat 8 OLI/TIRS didapatkan dari website *earthexplorer.usgs.gov* tahun perekaman 2016-2018, data landsat kemudian diolah menggunakan indeks kelembaban tanah atau *Soil Moisture Index* (SMI) untuk mengetahui kelembaban tanah pada berbagai tutupan lahan selama rentang tahun 2016-2018. Data yang didapat dari pengamatan di lapangan akan dianalisis di laboratorium untuk mengetahui sifat fisik tanah yaitu kadar air tanah (pF 0, pF 2,4, pF 4,2) dan nilai SMI yang ada dilapangan.

3.4.1. Pengamatan Kadar Air Tanah

Sampel yang diambil berdasarkan jumlah SPL (Satuan Peta Lahan) sebanyak 5 SPL, dengan karakteristik lahan berupa tutupan lahan yaitu tutupan lahan tebu, rami, jati putih, agave, dan padi. Pada masing-masing SPL dibuat 1 titik pengamatan, banyaknya sampel tanah yang akan diambil ditentukan dari setiap horizon yang diklasifikasi pada saat pengamatan di lapang, pada setiap horizon akan diambil sampel tanah, yang kemudian akan dianalisis. Pengambilan sampel tanah untuk analisa kadar air tanah menggunakan sampel tanah utuh (tidak terganggu). Metode yang digunakan untuk mengukur kadar air tanah pada setiap tekanan (pF 0, pF 2,4, pF 4,2) adalah metode gravimetrik. Persamaan yang digunakan untuk menghitung kadar air tanah (θ) berdasarkan Laboratorium Fisika tanah (2006) adalah sebagai berikut

$$KA = \frac{W_1 - W_2}{W_2 - W_3} \times 100\% \quad (13)$$

Dimana,

KA = Kadar Air (θ)

W1 = berat cawan (g) + tanah basah (g)

W2 = berat cawan (g) + tanah kering (g)

W3 = berat cawan kosong (g)



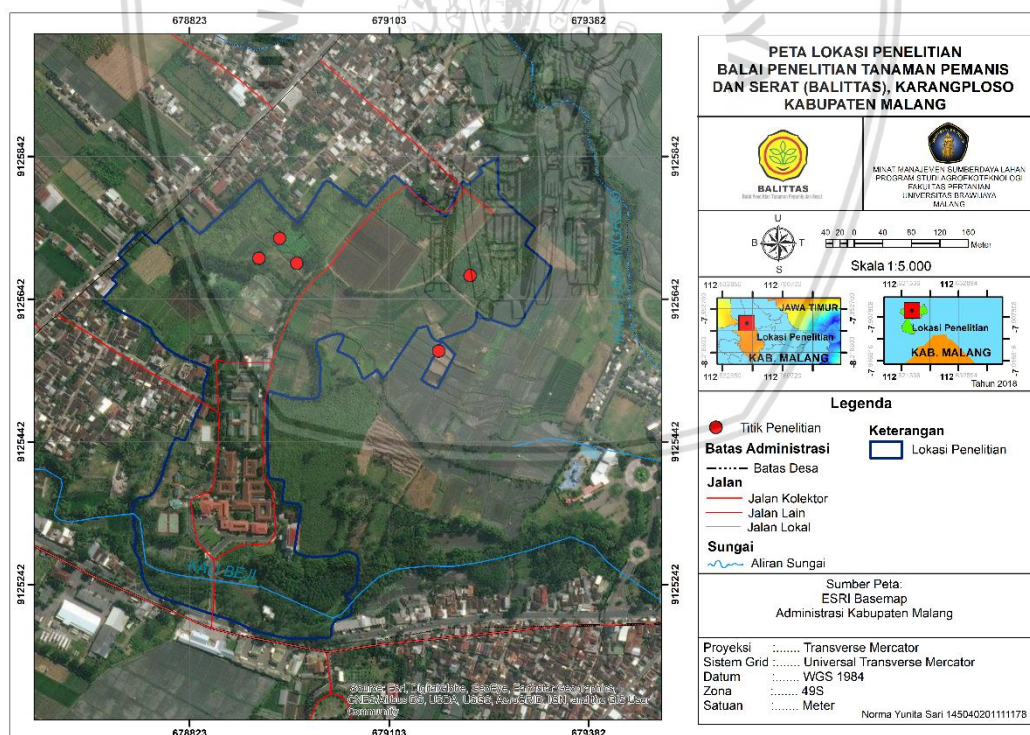
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil

4.1.1. Kondisi Umum Lokasi Penelitian

4.1.1.1. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian berada di Kebun Percobaan milik Balai Penelitian Tanaman Pemanis dan Serat (Balittas) Kecamatan Karangploso, Kabupaten Malang. Kebun percobaan milik Balittas digunakan untuk penelitian dan pengembangan tanaman yang dikelompokkan sebagai tanaman perkebunan, yaitu tanaman serat, yang terdiri atas serat buah (kapas dan kapuk), serat batang (kenaf, yute, rami, rosela, linum, abaka) dan serat daun (sisal, agave dan mendong); pemanis (tebu, stevia, dan bit gula); tembakau; dan minyak industri (jarak kepyar, jarak pagar, wijen, bunga matahari, dan kemiri minyak). Lokasi penelitian mencakup seluruh wilayah kebun percobaan seluas 18,95 Hektar. Peta lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 4.

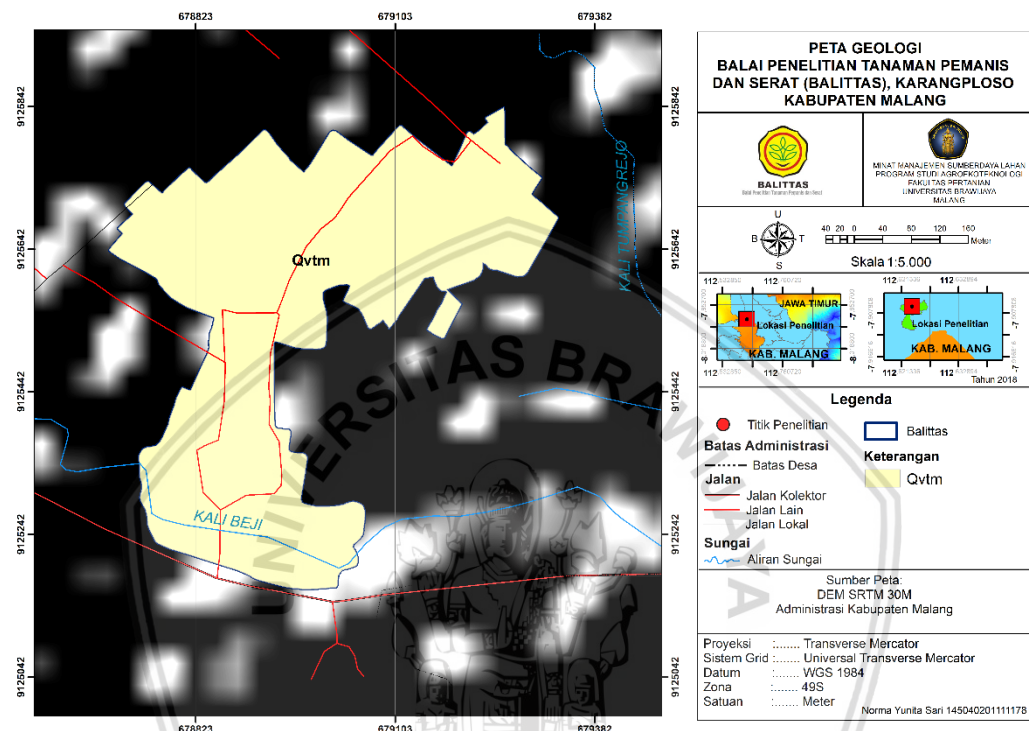


Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian Kebun Percobaan Balittas, Karangploso

4.1.1.2. Geologi

Berdasarkan peta geologi lembar malang 1608-1 skala 1:100.000, lokasi penelitian termasuk kedalam Tuf Malang (Qvtm), yang merupakan endapan

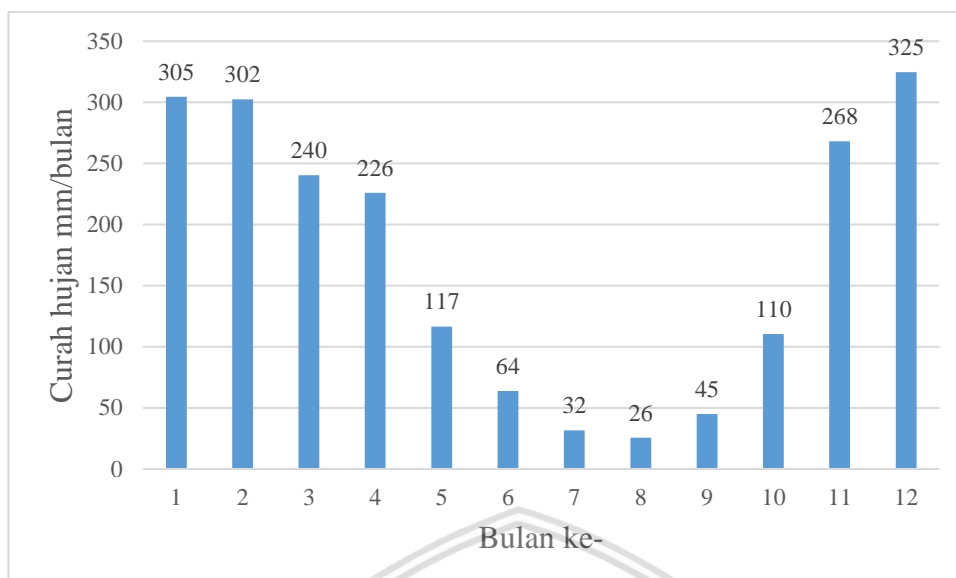
epiklastika yang bahannya berasal dari Batuan Gunungapi Kuartir Bawah di sekitarnya, dan merupakan runtunan dari berbagai tuf yang menindih Batuan Gunungapi Gendis dan Batuan Gunungapi Buring. Tuf Malang (Qvtm) terdiri dari tuf batuapung tuf pasir, breksi tuf, tuf halus dan lapili, dan diperkirakan berumur Plistosen-Holosen. Peta geologi lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 2. Peta Geologi Kebun Percobaan Balittas, Karangploso

4.1.1.3. Iklim

Kondisi iklim di lokasi pertanian didapat dari 2 stasiun curah hujan yaitu stasiun geofisika karangkates yang berada di Kecamatan Sumberpucung dan stasiun klimatologi karangploso di Kecamatan Karangploso. Data curah hujan yang digunakan yaitu data curah hujan bulanan selama 10 tahun yaitu dari tahun 2008 sampai 2017, kemudian dihitung rerata setahun, bulan basah dan bulan kering. Grafik rata-rata curah hujan dalam 10 tahun dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 3. Grafik Curah Hujan Rata-rata selama 10 tahun

Berdasarkan Gambar 6, menunjukkan bahwa curah hujan tertinggi berada pada bulan Desember yaitu tepat pada musim hujan dengan rata-rata 325 mm/bulan. Sedangkan curah hujan terendah berada pada bulan Agustus dengan rata-rata 26 mm/bulan yang merupakan musim kemarau. Penurunan grafik bisa dilihat pada bulan Mei yang merupakan awal musim kemarau, dan peningkatan rata-rata curah hujan terjadi mulai bulan November yang merupakan awal dari musim hujan.

Klasifikasi iklim Schmidt-Ferguson menggunakan perbandingan dari rata-rata banyaknya bulan kering dan rata-rata banyaknya bulan basah (Lakitan, 2002 dalam Sasminto R.A., Tunggul A., dan J.B. Rahadi, 2013). Bulan kering mempunyai jumlah curah hujan <60 mm yaitu dimulai sejak bulan Juli sampai bulan September, bulan basah mempunyai jumlah curah hujan >100 mm yaitu dari bulan Oktober sampai Mei, dan bulan lembab yang mempunyai jumlah curah hujan 60-100 mm terdapat pada bulan Juni. Klasifikasi iklim Schmidt-Ferguson yang terdapat pada wilayah penelitian termasuk kedalam tipe iklim C (Agak Basah).

4.1.1.4. Satuan Peta Lahan

Satuan peta lahan (SPL) dikategorikan berdasarkan karakteristik lahan yang sama. Satuan peta lahan (SPL) pada lokasi penelitian didasarkan pada tutupan lahan yang sama. Tutupan lahan pada lokasi penelitian berada pada penggunaan lahan kering atau tegalan dan lahan basah atau sawah. Tutupan lahan tegalan mayoritas adalah tanaman tebu (*Saccharum officinarum*), kemudian tanaman rami

(*Boehmeria nivea*), agave (*Agave tequilana*), dan pohon jati putih (*Gmelina arborea roxb*), sedangkan pada lahan sawah tutupan lahan berupa tanaman padi (*Oryza sativa*). Berdasarkan uraian tersebut, terdapat 5 satuan peta lahan (SPL) pada lokasi penelitian. Satuan peta lahan (SPL) pada lokasi penelitian dapat dilihat pada Tabel 7.

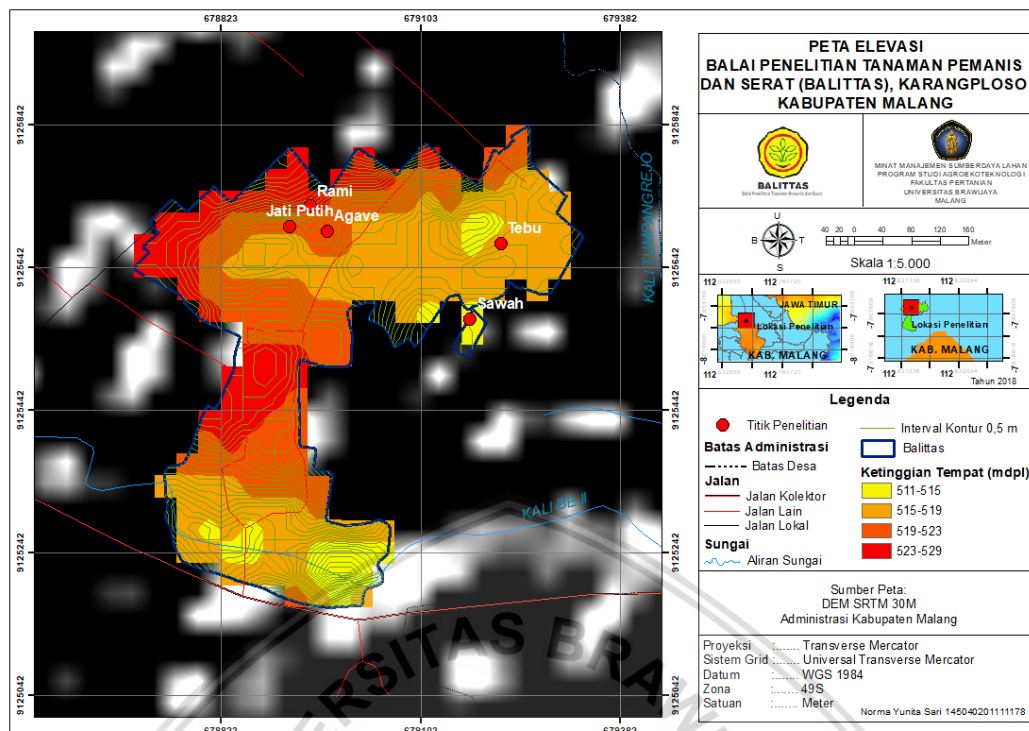
Tabel 1. Satuan Peta Lahan (SPL) Kebun Percobaan Balittas, Karangploso

SPL	Tutupan Lahan	Luas (Ha)	Luas (m ²)	Persentase (%)
1	Tebu	8	80007,99	42,24
2	Rami	0,24	2446,41	1,29
3	Jati Putih	3,31	33146,19	17,50
4	Agave	0,71	7137,79	3,77
5	Padi	2,47	24715,43	13,05
	Non Pertanian	4,2	41970	22,16
Total		18,95	189423,8	100

Pada Tabel 7, satuan peta lahan (SPL) terluas berada pada SPL 1 dengan tutupan lahan tebu memiliki luas 8 ha atau 42,24% dari total luas lokasi penelitian. SPL 5 dengan tutupan lahan padi memiliki luas 5,33 ha atau 28,12% dari total luas lokasi penelitian. SPL 3 dengan tutupan lahan jati putih memiliki luas 3,31 ha atau 17,5% dari total luas lokasi penelitian. SPL 4 dengan tutupan lahan agave memiliki luas 0,71 ha atau 3,77% dari total luas lokasi penelitian. SPL dengan luasan terkecil adalah SPL 2 dengan tutupan lahan rami memiliki luas 0,24 ha atau 1,29% dari total luas lokasi penelitian. Lahan non-pertanian tidak termasuk kedalam satuan peta lahan, karena tutupan lahan bukan merupakan tanaman budidaya yang terdapat di lokasi penelitian, lahan non-pertanian berupa bangunan, jalan, dan taman. Peta satuan peta lahan dapat dilihat pada Gambar 7.

4.1.1.5. Topografi dan Tanah

Topografi pada lokasi penelitian yang berada di Kebun Percobaan Balittas, Karangploso memiliki bentuk lahan alluvial karena adanya pengaruh dari Kali Beji yang memotong lokasi penelitian. Secara fisiografis lokasi penelitian termasuk daerah yang bergelombang (0-15%). Lokasi penelitian berada pada ketinggian 511 sampai 529 m diatas permukaan laut (mdpl) yang dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 5. Peta Elevasi Kebun Percobaan Balittas, Karangploso

Berdasarkan hasil analisis fisika tanah (Tabel 8) yang dilakukan pada lokasi penelitian memiliki kelas tekstur tanah halus yaitu tekstur tanah liat pada SPL 5 (padi), dan tekstur tanah liat berdebu pada SPL 1 (tebu), SPL 3 (jati putih), SPL 4 (agave), dan memiliki kelas tekstur tanah agak halus yaitu tekstur tanah lempung liat berdebu pada SPL 2 (Rami). Pada lokasi penelitian memiliki taksa tanah inceptisol (Ramadhan, 2018), yang memiliki BI bervariasi dari kelas sedang pada SPL 2 dan SPL 3, kelas BI tinggi/mampat pada SPL 1 dan SPL 5, sampai sangat tinggi/sangat mampat pada SPL 4. Hasil analisis fisika lainnya dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 2. Data analisis fisika tanah

SPL	Tutupan lahan	Kedalaman (cm)	Tekstur	BI (g.cm3)	Kelas BI
1	Tebu	20-25	Liat Berdebu	1,21	tinggi / berat / mampat
2	Rami	18	Lempung Liat Berdebu	1,2	sedang / sedang
3	Jati Putih	18	Liat Berdebu	0,96	sedang / sedang
4	Agave	11	Liat Berdebu	1,44	sangat tinggi / sangat berat / sangat mampat
5	Padi	22	Liat	1,37	tinggi / berat / mampat

Sumber: Ramadhan,2018 (belum publish)

4.2. Analisis Citra Landsat 8 OLI/TIRS

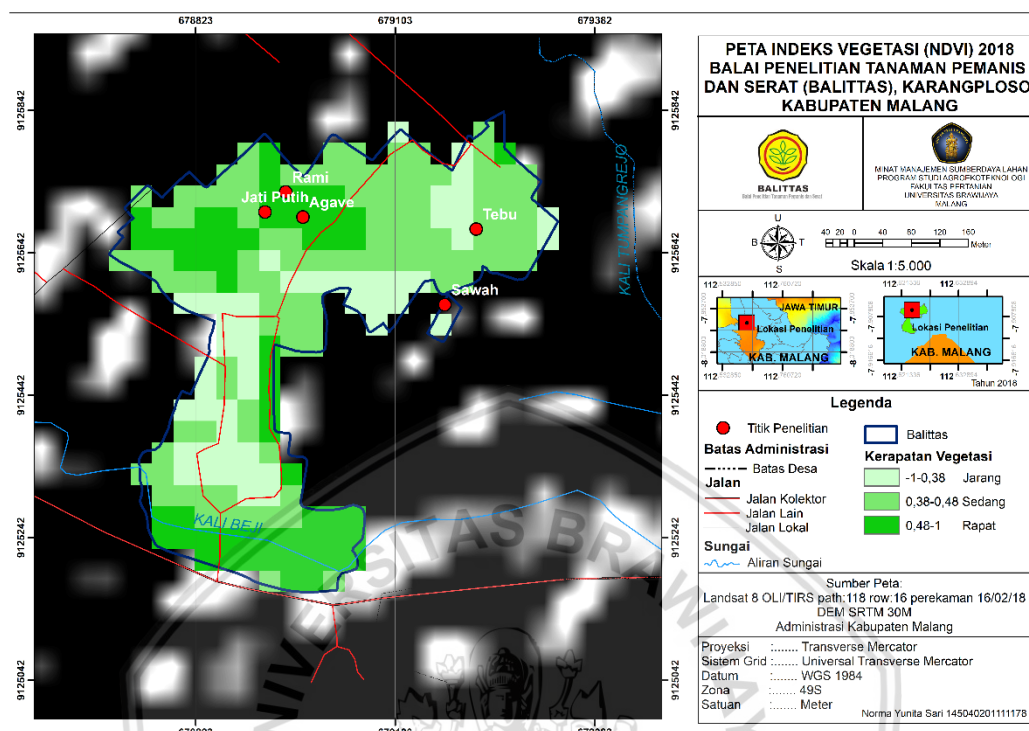
Penelitian ini menggunakan Citra Landsat 8 OLI/TIRS dengan tahun perekaman 2016-2018. Citra Landsat 8 OLI/TIRS memiliki 2 sensor yaitu, 9 saluran (band 1-9) untuk sensor *Operational Land Imager* (OLI) dan 2 saluran (band 10-11) untuk sensor *Thermal Infrared Sensor* (TIRS). Saluran yang digunakan dari landsat 8 dengan adalah band 4 dan 5 yang digunakan untuk menentukan *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) atau indeks vegetasi, band 10 dan 11 yang digunakan untuk analisis *Land Surface Temperature* (LST) atau suhu permukaan tanah. NDVI dan LST kemudian digunakan untuk analisis kelembaban tanah menggunakan *Soil Moisture Index* (SMI). Analisis citra landsat 8 OLI/TIRS diharapkan dapat memprediksi kelembaban tanah pada lokasi penelitian di Kebun Percobaan Balittas Karangploso.

4.2.1. Pengolahan Citra Landsat 8 OLI/TIRS

4.2.1.1. Analisis *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI)

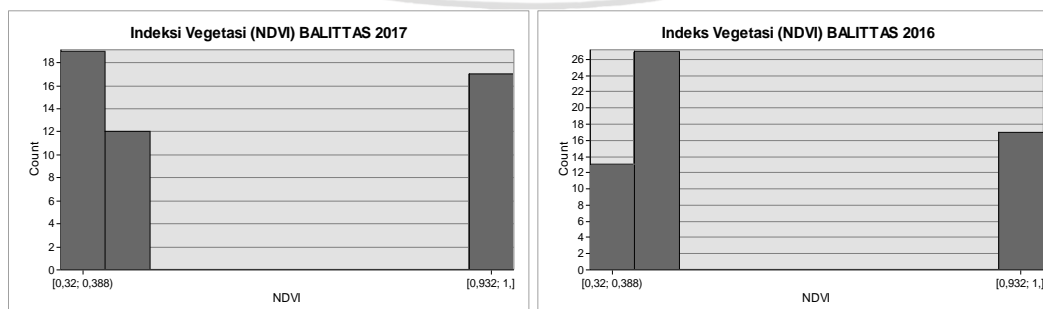
Analisis kerapatan vegetasi pada penelitian ini menggunakan *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), yang didasarkan pada pantulan sinar merah (band 4) dan saluran inframerah dekat (band 5) pada citra landsat 8 OLI/TIRS. Kerapatan vegetasi dikelaskan menjadi 3 kelas dengan tingkat kerapatan vegetasi yang berbeda, mulai dari tingkat kerapatan jarang, sedang, sampai tinggi. Nilai spektral untuk NDVI berkisar antara -1 yang mempunyai tingkat kerapatan vegetasi jarang, sampai 1 yang mempunyai tingkat kerapatan vegetasi tinggi. Pada lokasi penelitian NDVI tahun 2018 memiliki nilai spektral antara 0,0146 sampai 0,5842 dengan mean 0,38. Nilai spektral tersebut termasuk kedalam tingkat kerapatan

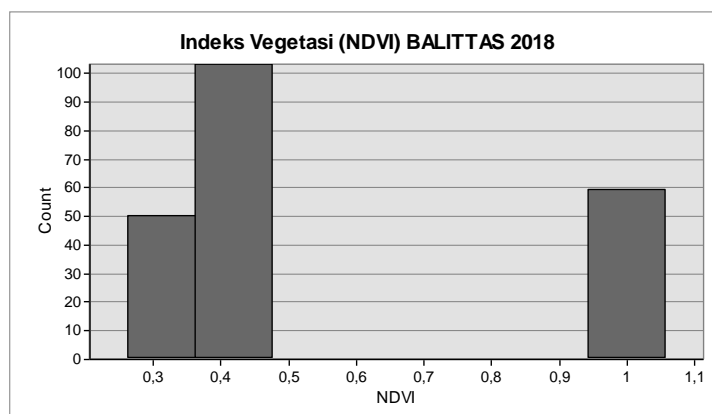
vegetasi jarang sampai tinggi. Peta NDVI lokasi penelitian tahun 2018 dapat dilihat di Gambar 9.



Gambar 6. Peta indeks vegetasi (NDVI) Balittas 2018

Sementara NDVI pada tahun 2017 memiliki nilai spektral antara 0,1875 sampai 0,4844 yaitu dari tingkat kerapatan vegetasi jarang sampai tingkat kerapatan vegetasi tinggi, dan nilai dengan mean 0,36. Pada tahun 2016 nilai spektral NDVI berkisar 0,1741 sampai 0,4868 yaitu dari tingkat kerapatan vegetasi jarang sampai tingkat kerapatan vegetasi tinggi, dan nilai dengan mean 0,31. Nilai spektral NDVI tahun 2016-2018 dapat dilihat pada grafik 1 dibawah ini.





Grafik 1. Histogram indeks vegetasi (NDVI) Balittas 2016-2018

Tutupan lahan pada wilayah penelitian mempunyai nilai kerapatan vegetasi yang berbeda-beda. Tingkat kerapatan vegetasi tinggi terbanyak berada pada SPL 3 dengan tutupan lahan pohon jati putih yaitu sebesar 13,64% dari total luas wilayah penelitian, tingkat kerapatan vegetasi sedang terbanyak berada pada SPL 1 dengan tutupan lahan tebu yaitu sebesar 28,45%, dan tingkat kerapatan vegetasi jarang terbanyak berada pada SPL 5 dengan tutupan lahan padi yaitu sebesar 7,13%. Tingkat Kerapatan vegetasi pada wilayah penelitian dapat dilihat pada Lampiran 14.

Tingkat kerapatan vegetasi jarang berada pada tutupan lahan yang memiliki kerapatan kanopi yang rendah (luas daun atau persen tutupan kanopi), dan lahan yang memiliki vegetasi yang berumur muda. Lahan pertanian dengan kondisi tergenang air yaitu tutupan lahan padi, selama masa pengamatan yaitu bulan Februari keadaan lahan padi berada pada kondisi sehabis dipanen (lahan bera), dan sebagian tanaman dalam masa vegetatif/baru ditanam. Sementara pada tutupan lahan tebu, kerapatan vegetasi rendah diakibatkan karena masa vegetatif tanaman tebu sehingga tingkat kerapatan vegetasi tidak merata, dan sebagian besar mempunyai kerapatan vegetasi yang rendah.

Tingkat kerapatan vegetasi sedang paling banyak terdapat pada tutupan lahan tebu, hal ini dikarenakan tanaman tebu yang masih dalam masa vegetatif atau baru ditanam sehingga tutupan kanopi tidak besar, hal yang sama terjadi pada tutupan lahan padi, jati putih, dan agave. Tutupan lahan jati putih selain mempunyai variasi umur tanaman yang beragam, namun pada tutupan lahan jati putih tidak terdapat pengelolaan lahan seperti pengaturan jarak tanam, sehingga kerapatan

vegetasi pada tutupan lahan jati putih beragam. Berbeda dengan jati putih, terdapat pengelolaan lahan pada tutupan lahan agave yang mempunyai variasi umur tanaman yang beragam, hal ini mempengaruhi kerapatan vegetasi pada tanaman agave yang juga beragam.

Tingkat kerapatan vegetasi tinggi paling dominan berada pada tutupan lahan jati putih, kemudian tebu, agave, rami dan sebagian kecil tutupan lahan padi. Tingkat kerapatan vegetasi tinggi dikarenakan tutupan kanopi yang lebat. Pengukuran NDVI merupakan fungsi dari pantulan saluran sinar merah dan saluran inframerah dekat yang berasal dari kanopi tanaman, sehingga semakin rapat kanopi tanaman maka semakin besar nilai NDVI atau tingkat kerapatan vegetasi tersebut.

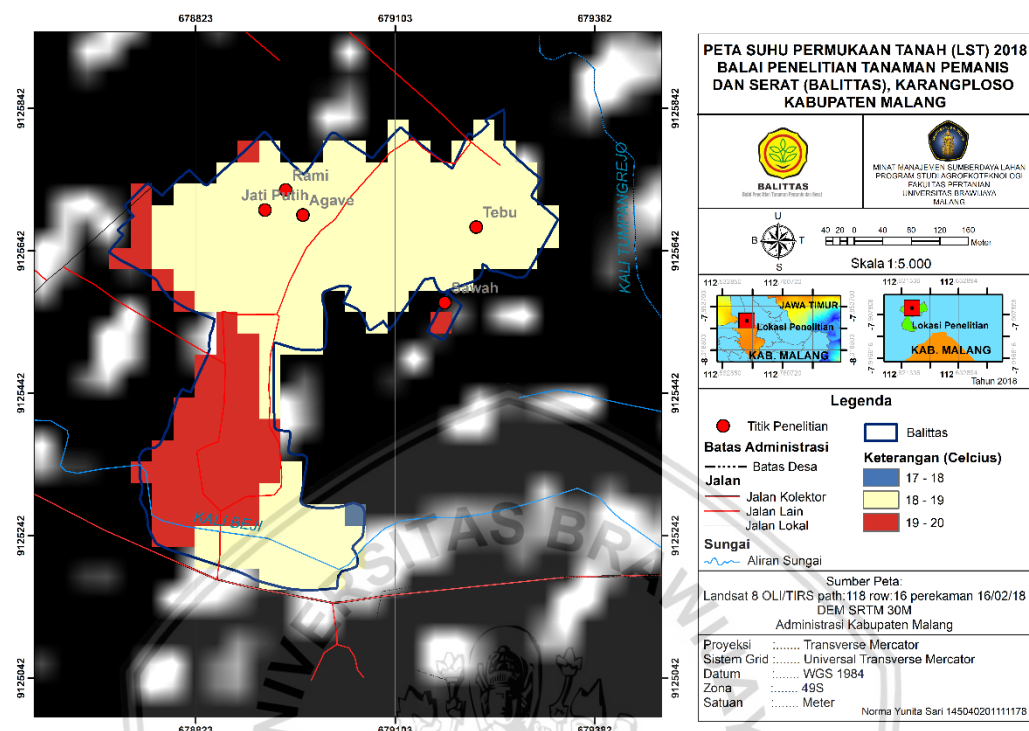
NDVI dimotivasi oleh observasi vegetasi, yaitu selisih antara spektral inframerah dekat (NIR) dan spektral inframerah, semakin besar selisih tersebut semakin besar kepadatan (*density*) klorofil. Selisih spektral inframerah dekat (NIR) dan spektral inframerah dibutuhkan untuk menormalkan dan menyeimbangkan efek dari pencahayaan yang tidak merata seperti bayangan dari awan atau perbukitan. Derajat kehijauan dengan kata lain setara dengan konsentrasi klorofil. Nilai NDVI bervariasi dengan penyerapan dari sinar merah oleh klorofil tanaman dan refleksi dari radiasi inframerah oleh sel-sel daun yang berisi air. Semua rentang sinar tampak yang ditangkap oleh citra satelit dalam bentuk spektral (band), dimana fungsinya dapat diekstrak setelah penerapan metode NDVI untuk karakteristik yang berbeda (Gandhi *et al.*, 2015).

NDVI tidak mengukur jumlah vegetasi, dan nilainya dapat dipengaruhi oleh banyak faktor di luar daun tanaman, termasuk sudut pandang pengambilan citra, latar belakang dari tanah, dan perbedaan dalam arah dan jarak baris dalam tanaman pertanian (Weng Q., Lu D., dan J. Schrubring, 2004).

4.2.1.2. Analisis *Land Surface Temperature* (LST)

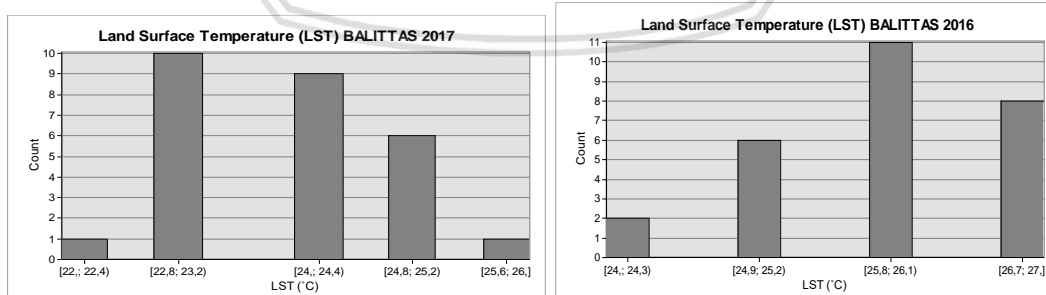
Data termal dari citra landsat 8 diperoleh dari saluran TIRS (*Thermal Infrared Sensor*) pada band 10 dan 11 yang digunakan untuk menduga suhu permukaan tanah pada lokasi penelitian. Hasil pengolahan *Land Surface Temperature* (LST) atau suhu permukaan tanah dengan menggunakan citra landsat 8 OLI/TIRS pada tahun 2018, didapatkan nilai spektral suhu permukaan tanah

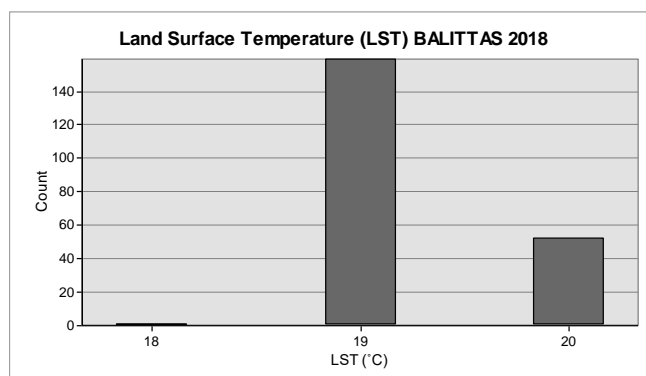
minimum $17,98^{\circ}\text{C}$ dan maksimum $19,85^{\circ}\text{C}$ dengan mean $18,72^{\circ}\text{C}$. Peta suhu permukaan tanah (LST) lokasi penelitian tahun 2018 dapat dilihat di Gambar 10.



Gambar 7. Peta suhu permukaan tanah (LST) Balittas 2018

Sementara nilai LST pada tahun 2017 didapatkan nilai spektral suhu permukaan tanah minimum yaitu $21,37^{\circ}\text{C}$ dan nilai maksimum $26,95^{\circ}\text{C}$ dengan mean $23,43^{\circ}\text{C}$. Pada tahun 2016 nilai spektral suhu permukaan tanah minimum yaitu $23,77^{\circ}\text{C}$ dan nilai maksimum $26,39^{\circ}\text{C}$ dengan mean $25,23^{\circ}\text{C}$. Nilai spektral LST tahun 2016-2018 dapat dilihat pada grafik 2 dibawah ini.





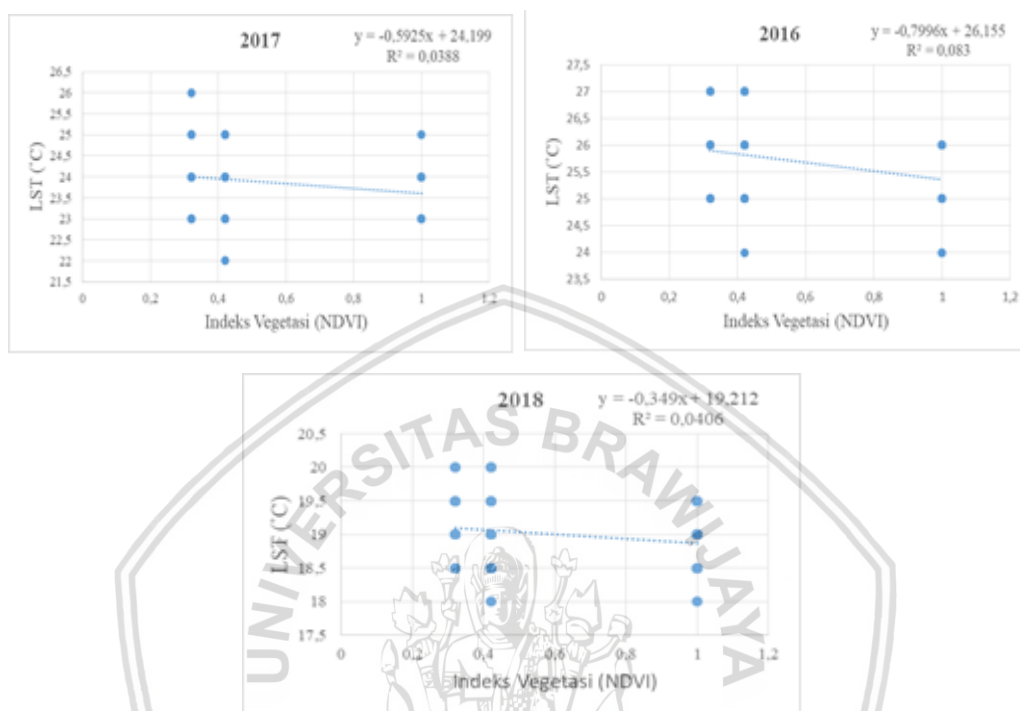
Grafik 2. Histogram suhu permukaan tanah (LST) Balittas 2016-2018

Suhu udara yang didapatkan dengan rumus Braak yang didasarkan pada ketinggian di wilayah penelitian yang berkisar 515 – 529 m diatas permukaan laut mencapai 23°C sampai 23,4°C. Perbedaan temperatur permukaan pada tahun yang diamati dikarenakan adanya perbedaan pengambilan citra satelit pada kondisi musim dan atau bulan, pada hasil penelitian ini terdapat perbedaan tanggal hasil pengamatan dilapang dengan tanggal perekaman dari citra landsat yang diolah. Perbedaan dari suhu yang dipancarkan (*radiative*) antara kanopi vegetasi dan permukaan tanah mempengaruhi pengukuran dari LST (Sandholt *et al.*, 2002). Pengukuran LST untuk wilayah non-vegetasi biasanya menunjukkan suhu radiometrik dari permukaan non-vegetasi yang disinari matahari, seperti pada tanah kosong. Semakin meningkat tutupan vegetasi, suhu yang dipancarkan (*radiative*) yang terekam pada sensor kira-kira semakin dekat dengan suhu dari daun hijau, dan suhu kanopi pada spektral vegetasi maksimum atau tutupan kanopi penuh (Goward, Xue, dan Czajkowski, 2002).

Hubungan LST dan NDVI dapat dilihat pada grafik regresi linear (Gambar 11). Pada grafik regresi linear hasil pengolahan citra landsat tahun 2016, 2017, dan 2018, menunjukkan bahwa hubungan LST dan NDVI berkorelasi negatif dengan nilai korelasi r berturut-turut -0,2881, -0,1969, -0,2015. Indeks vegetasi (NDVI) memiliki hubungan tidak berpengaruh nyata pada tahun 2016, 2017, dan 2018 terhadap suhu permukaan tanah (LST) (Lampiran 7).

Persamaan yang terbentuk dari grafik regresi linear adalah $y = -0,7996x + 16,155$, $y = -0,5925x + 24,199$, $y = -0,349x + 19,212$, dengan koefisien determinasi R^2 berturut-turut 0,083, 0,0388, 0,0406. Nilai koefisien determinasi R^2 menunjukkan bahwa sebesar 8,3% (2016), 3,9% (2017), 4,06% (2018) dari nilai

LST dipengaruhi oleh NDVI. Persamaan regresi $y = ax + b$ menunjukkan setiap kenaikan nilai NDVI sebesar 1 satuan maka akan memberikan pengaruh negatif ke nilai LST sebesar, 0,7996% (2016), 0,5925% (2017), dan 0,349% (2018).



Gambar 8. Grafik Hubungan antara NDVI dengan LST

Perbedaan hubungan LST dengan NDVI pada setiap tahun pengamatan dipengaruhi oleh tutupan kerapatan vegetasi, waktu dan sudut pengambilan citra. Menurut Cassels *et al.*, 1992 dalam Weng *et al.*, 2004, bagian tanah dan vegetasi yang diamati dapat bervariasi dengan sudut pengambilan citra satelit, sehingga ketika sudut pengambilan citra meningkat maka jumlah vegetasi (yang berada di lapang) berubah. Selain itu, pengukuran LST juga akan dipengaruhi oleh pengaruh atmosfer yang lebih rendah dan perbedaan suhu antara kanopi vegetasi dan latar belakang dari tanah (Friedl, 2002 dalam Weng *et al.*, 2004).

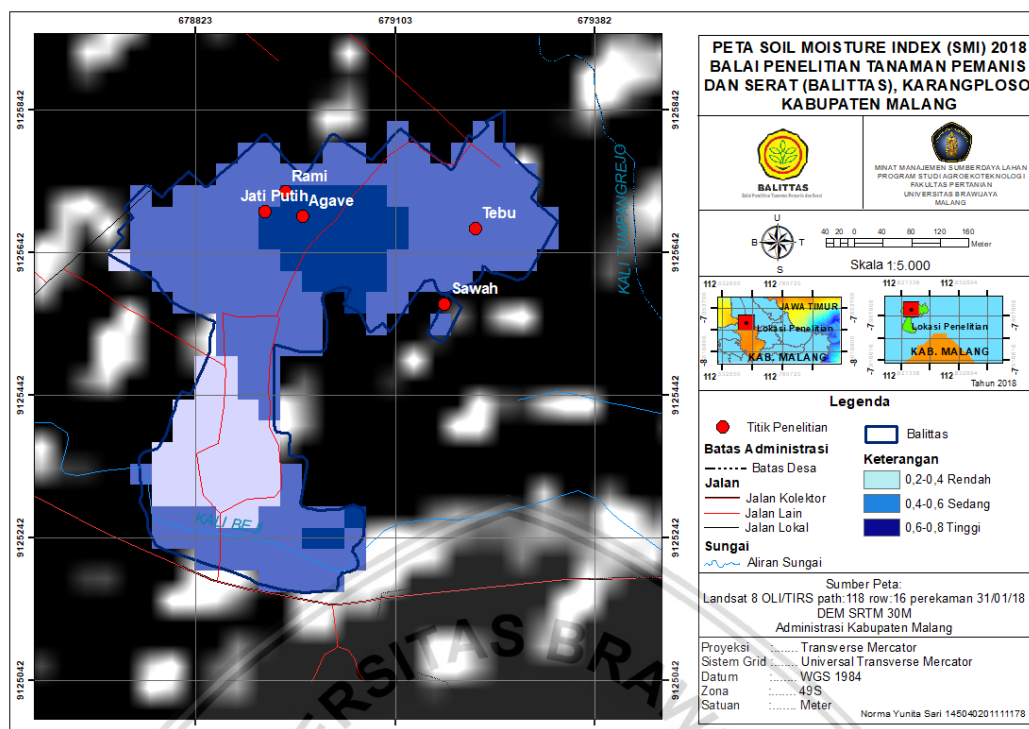
Suhu permukaan tanah tertinggi pada lokasi penelitian didapatkan pada tutupan lahan non pertanian sebesar 19,85 °C berupa gedung dan jalan, yang diikuti dengan tutupan lahan pertanian padi yang dalam kondisi bera atau habis panen. Suhu permukaan tanah lebih rendah ditemukan pada semua SPL yang mempunyai tutupan vegetasi di atasnya, yaitu berkisar 18-19°C. Suhu permukaan tanah terhadap setiap tutupan lahan (SPL) pada wilayah penelitian dapat dilihat pada Lampiran 15.

Setiap bahan permukaan, beberapa bahan internal seperti kapasitas panas (*heat capacity*), konduktivitas termal (*thermal conductivity*) dan inersia (*inertia*), mempunyai peran yang penting dalam mengatur keseimbangan suhu permukaan dengan lingkungan dan kesetimbangannya (Campbell, 2002 dalam Weng *et al.*, 2004). Tanah dengan berat isi yang rendah, tanpa tutupan, dan kering, sebagai contoh dikaitkan dengan suhu permukaan tanah yang tinggi sebagai hasil dari inersia yang rendah (Larson dan Carnahan, 1997 dalam Weng *et al.*, 2004). Sementara wilayah yang mempunyai karakter tutupan vegetasi sebagian, bahan suhu tanah (*surface thermal properties*) mempunyai pengaruh sangat besar terhadap pengukuran LST melalui proses termal dari konduksi, konveksi dan radiasi (Carnahan dan Larson, 1990 dalam Weng *et al.*, 2004).

4.2.1.3. Analisis Soil Moisture Index (SMI)

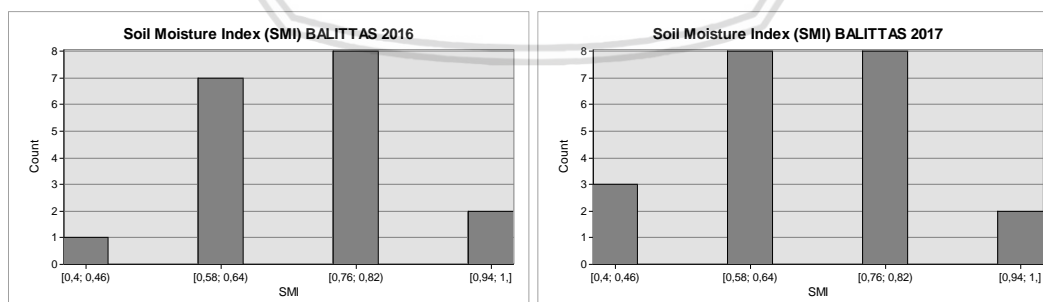
Pendugaan kelembaban tanah menggunakan *Soil Moisture Index* (SMI). Metode yang diaplikasikan untuk menentukan SMI menggunakan algoritma yang diperoleh dari sensor satelit. SMI didasarkan dari mengetahui secara pasti keadaan titik layu tanaman dan kapasitas lapang pada setiap titik. Citra satelit multispektral dari sinar tampak (saluran sinar merah) dan saluran inframerah (inframerah dekat dan saluran termal) penting untuk kalkulasi indeks kelembaban tanah. Kalkulasi indeks vegetasi (NDVI) dan suhu permukaan tanah (LST) diperlukan untuk menentukan SMI.

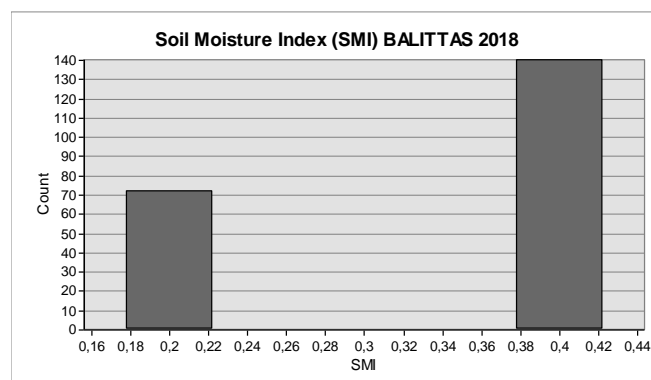
Pada tahun 2018 nilai spektral SMI berkisar antara 0,09 sampai 0,29, yaitu dari tingkat kelembaban sangat rendah sampai tingkat kelembaban rendah dengan mean 0,21. Peta SMI lokasi penelitian tahun 2018 dapat dilihat pada Gambar 12.



Gambar 9. Peta indeks kelembaban tanah (SMI) Balittas 2018

Nilai spektral SMI pada tahun 2017 didapatkan nilai spektral minimum 0,3917 dan nilai maksimum 0,8963 yaitu dari tingkat kelembaban tanah rendah sampai tingkat kelembaban tanah sangat tinggi, dengan mean 0,63. Pada tahun 2016 nilai spektral SMI berkisar antara 0,4047 sampai 0,9048 yaitu dari tingkat kelembaban tanah sedang sampai tingkat kelembaban tanah sangat tinggi, dengan mean 0,63. Nilai spektral SMI tahun 2016-2018 dapat dilihat pada grafik 3 dibawah ini.





Grafik 3. Histogram indeks kelembaban tanah (SMI) Balittas 2016-2018

Nilai SMI didasarkan pada keadaan titik layu tanaman dan kapasitas lapang. Semakin nilai spektral mendekati angka 1 maka tanah berada pada kondisi dengan kelembaban tinggi atau pada kapasitas air lapang, dan semakin nilai spektral mendekati angka 0 maka tanah berada pada kondisi dengan kelembaban tanah rendah atau pada titik layu permanen.

Nilai SMI sangat rendah (0-0,2) ditemukan pada tutupan lahan tebu, jati putih, padi, dan agave, sedangkan nilai SMI rendah (0,2-0,4) ditemukan pada semua tutupan lahan dengan persentase luasan tertinggi terdapat pada tutupan lahan tebu, jati putih, padi, agave dan rami. Indeks kelembaban tanah (SMI) pada setiap tutupan lahan (SPL) pada wilayah penelitian dapat dilihat pada Lampiran 16.

4.3. Hubungan Tutupan Lahan dengan Kelembaban Tanah

Hubungan tutupan lahan dengan indeks kelembaban tanah (SMI) hasil pengamatan lapang dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 3. Hubungan tutupan vegetasi dengan indeks kelembaban tanah (SMI) hasil pengamatan lapang

SPL	Tutupan Lahan	SMI hasil pengamatan lapang
1	Tebu	1,89
2	Rami	3,18
3	Jati Putih	3,71
4	Agave	4,00
5	Padi	1,18

Tutupan lahan yang mempunyai nilai SMI paling besar terdapat pada tutupan lahan agave pada SPL 4 yang mempunyai nilai SMI sebesar 4,00, pada SPL 3 dengan tutupan lahan jati putih sebesar 3,71, SPL 2 yaitu dengan tutupan lahan rami sebesar 3,18, SPL 1 dengan tutupan lahan tebu sebesar 1,89 dan yang paling

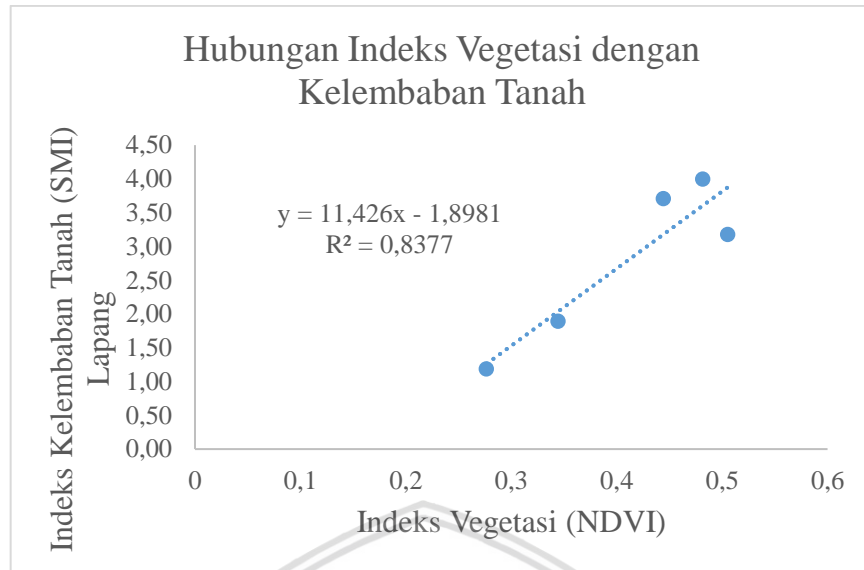
rendah berada pada SPL 5 yaitu tutupan lahan padi sebesar 1,18. Hunt *et al.*, (2007) dalam penelitiannya mengelaskan indeks kelembaban tanah (SMI) yang didapatkan dari kadar air volumetrik dari -5 sampai 5, nilai negatif sebagai tanda kekeringan atau kondisi tanaman berada pada titik layu permanen, sedangkan nilai positif mendekati angka 5 berarti tanah tidak terdapat kekeringan dan tanaman berada pada keadaan kapasitas lapang.

4.4. Hubungan Indeks Vegetasi dengan Kelembaban Tanah

Tingkat indeks vegetasi (NDVI) pada lokasi penelitian hasil pengolahan citra landsat 8 OLI/TIRS perekaman 16 Februari 2018 antara lain; pada tutupan lahan jati putih, tebu, agave, dan rami berada pada tingkat kerapatan vegetasi tinggi, tutupan lahan tebu, padi, jati putih, agave berada pada tingkat tutupan lahan sedang, dan tutupan lahan padi berada pada tingkat tutupan lahan jarang.

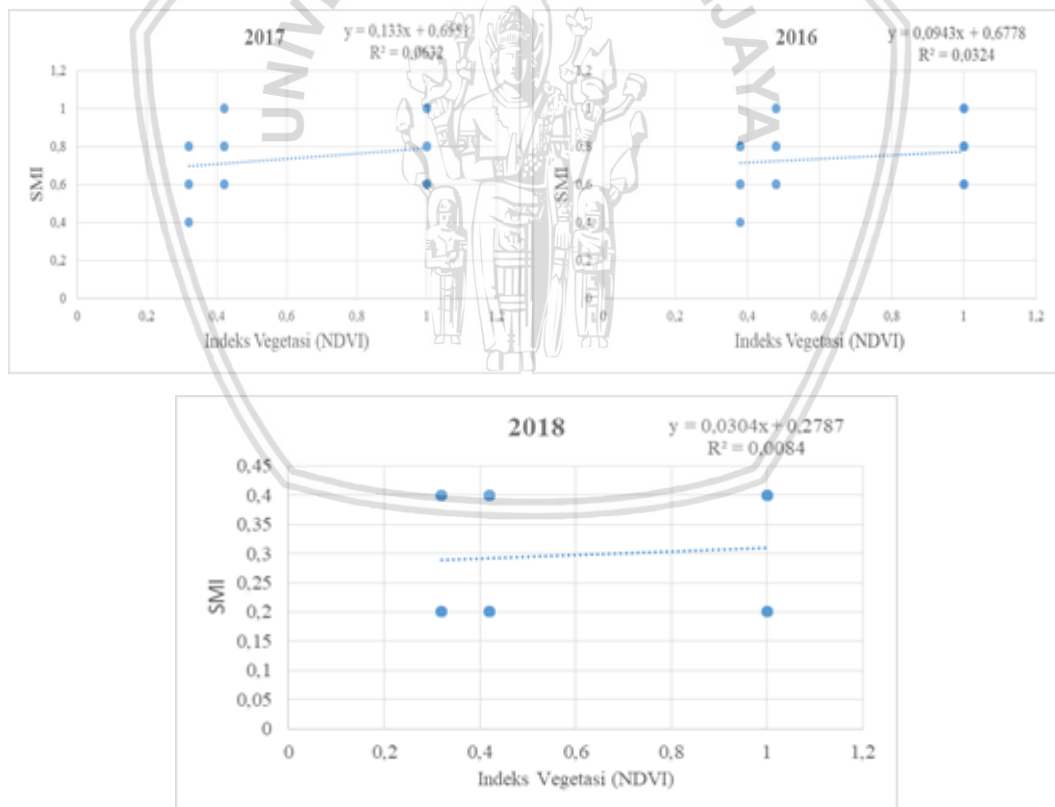
Hubungan NDVI dengan SMI hasil lapang terdapat pada grafik regresi linear (Gambar 13). Grafik tersebut menunjukkan bahwa hubungan SMI hasil analisis lapang dan NDVI berkorelasi positif dengan nilai korelasi $r = 0,915$. Hubungan NDVI menunjukkan hubungan berpengaruh nyata terhadap SMI hasil lapang (Lampiran 10).

Persamaan yang terbentuk dari grafik regresi linear adalah $y = 11,426x - 1,8981$ dengan koefisien determinasi $R^2 = 0,8377$. Nilai koefisien determinasi R^2 menunjukkan bahwa sebesar 83,77% SMI hasil lapang dipengaruhi oleh indeks vegetasi (NDVI). Persamaan regresi $y = 11,426x - 1,8981$ menunjukkan setiap kenaikan nilai NDVI sebesar 1 satuan maka akan memberikan pengaruh positif ke nilai SMI hasil lapang sebesar 11,426%.



Gambar 10. Grafik hubungan indeks vegetasi dengan kelembaban tanah (SMI)

Hubungan NDVI dengan SMI hasil pengolahan citra landsat 8 pada tahun 2016, 2017, dan 2018 dapat dilihat pada Gambar 14.



Gambar 11. Grafik hubungan indeks vegetasi (NDVI) dengan indeks kelembaban tanah (SMI) hasil pengolahan citra landsat 8 OLI/TIRS

Hubungan antara NDVI dan SMI hasil pengolahan citra landsat 8 OLI/TIRS dapat dilihat pada grafik regresi linear (Gambar 14). Pada grafik regresi linear hasil pengolahan citra landsat tahun 2016, 2017, dan 2018, menunjukkan bahwa hubungan NDVI dan SMI hasil pengolahan citra landsat 8 OLI/TIRS berkorelasi positif dengan nilai korelasi r berturut-turut 0,1800, 0,2514, 0,091. NDVI memiliki hubungan tidak berpengaruh nyata pada tahun 2016, 2017, dan berpengaruh nyata pada tahun 2018 terhadap SMI hasil pengolahan citra (Lampiran 8).

Persamaan yang terbentuk dari grafik regresi linear adalah $y = 0,0943x + 0,6778$, $y = 0,133x + 0,6551$, dan $y = 0,0304x + 0,2787$, dengan koefisien determinasi R^2 berturut-turut 0,0324, 0,0632, 0,0084. Nilai koefisien determinasi R^2 menunjukkan bahwa sebesar 3,24% (2016), 6,32% (2017), 0,8% (2018) dari nilai SMI hasil pengolahan citra landsat dipengaruhi oleh NDVI. Persamaan regresi $y = ax + b$ menunjukkan setiap kenaikan nilai NDVI sebesar 1 satuan maka akan memberikan pengaruh positif terhadap nilai SMI sebesar, 0,0943% (2016), 0,0133% (2017), dan 0,0304% (2018).

Terdapat perbedaan pada hubungan antara NDVI dan SMI hasil pengamatan lapang dengan hasil pengolahan citra landsat. Hasil analisis statistik menunjukkan hubungan NDVI dan SMI hasil pengolahan citra landsat tidak berpengaruh nyata pada 2016, 2017, dan berpengaruh nyata pada tahun 2018, dibandingkan dengan SMI hasil pengamatan lapang yang menunjukkan hubungan berpengaruh nyata terhadap NDVI. Namun, kedua indeks kelembaban tanah (SMI) hasil pengamatan lapang dan citra satelit menunjukkan korelasi positif terhadap indeks vegetasi.

NDVI telah berkorelasi dengan banyak variabel seperti defisiensi hara tanaman, dan cekaman air jangka panjang. Namun, daripada hanya mencerminkan efek dari satu parameter, NDVI harus dianggap sebagai pengukuran dari penggabungan pertumbuhan tanaman yang mencerminkan berbagai faktor pertumbuhan tanaman. Karakteristik fisik yang dideteksi oleh indeks kemungkinan terkait dengan beberapa ukuran kerapatan kanopi (yaitu luas daun atau persen tutupan) atau total biomassa. Maka dari itu, faktor yang mendasari variabilitas dalam indeks vegetasi secara khas tidak dapat begitu saja dikaitkan dengan input manajemen tanpa pengetahuan dari faktor utama yang membatasi pertumbuhan. Misalnya, di suatu lahan dimana N adalah faktor pembatas untuk pertumbuhan,

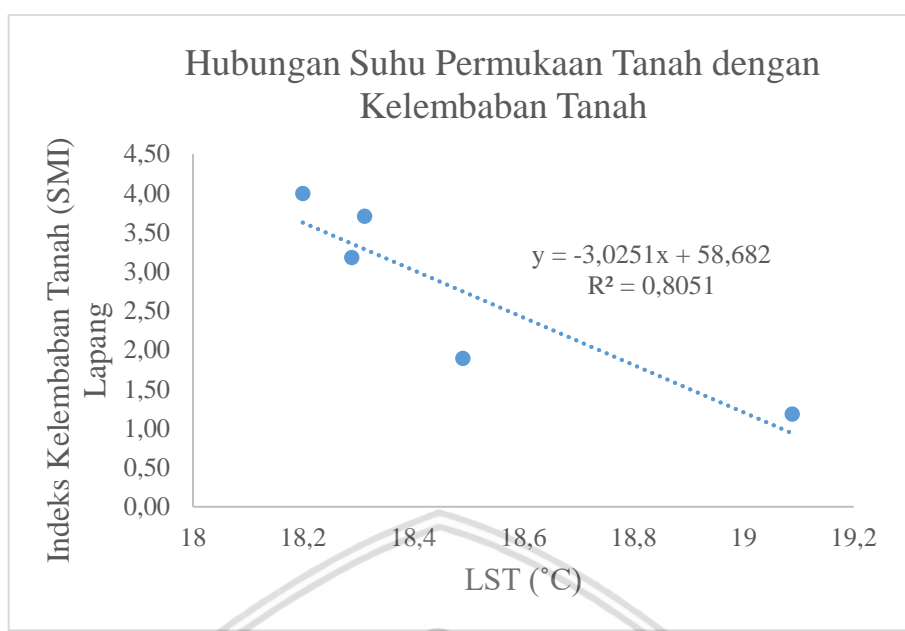
NDVI mungkin menunjukkan korelasi yang kuat dengan ketersediaan N didalam tanah, namun, di lahan yang berbeda, di mana air adalah faktor pembatas, NDVI mungkin berkorelasi sama kuat dengan ketersediaan lengas tanah tanaman (Verhulst dan Govaerts, 2010).

Indeks kerapatan vegetasi biasa digunakan sebagai indikator monitoring dinamika vegetasi dan respon dari permukaan tanah untuk variasi hidrologi untuk skala yang besar. NDVI menunjukkan hubungan yang kuat dengan fluktuasi curah hujan di wilayah Sahel Afrika dengan nilai NDVI meningkat seiring dengan meningkatnya curah hujan (Nicholson *et al.*, 1990; Davenport dan Nicholson, 1993; Nicholson dan Farrar, 1994; Eklundh, 1998; Omuto *et al.*, 2010; Ahmed *et al.*, 2017; Georganos *et al.*, 2017). Penelitian yang dilakukan oleh Ahmed *et al.* (2017), menunjukkan korelasi yang kuat antara NDVI dengan kelembaban tanah di wilayah Sahel Afrika, dan respon vegetasi pada kelembaban tanah akan berbeda setiap periode curah hujan.

4.5. Hubungan Suhu Permukaan Tanah (LST) dengan Kelembaban Tanah

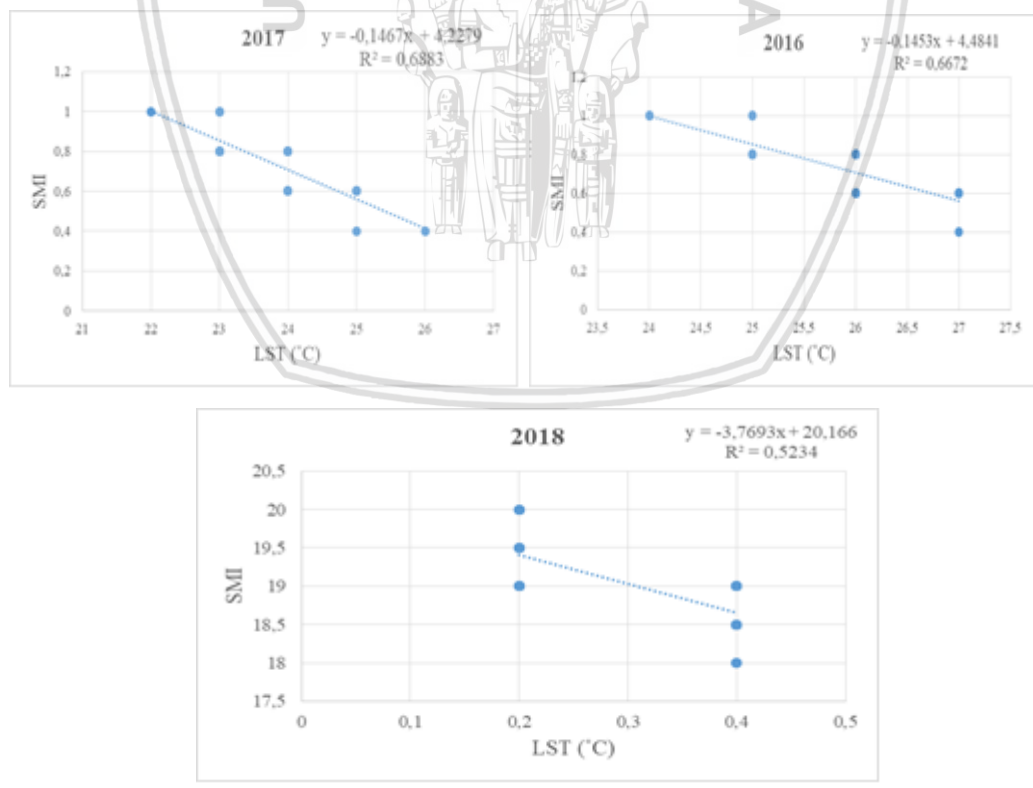
Hubungan antara suhu permukaan tanah (LST) hasil pengolahan landsat 8 OLI/TIRS pada perekaman 16 Februari 2018 dengan indeks kelembaban tanah (SMI) hasil pengamatan lapang di lokasi penelitian dapat dilihat pada Grafik regresi linear (Gambar 15). Grafik tersebut menunjukkan bahwa SMI hasil pengamatan lapang dan LST berkorelasi negatif dengan nilai korelasi $r = -0,8973$. Hubungan LST menunjukkan hubungan berpengaruh nyata terhadap SMI hasil lapang (Lampiran 10).

Persamaan yang terbentuk dari grafik regresi linear adalah $y = -3,0251x - 58,682$ dengan koefisien determinasi $R^2 = 0,8051$. Nilai koefisien determinasi R^2 menunjukkan bahwa sebesar 80,51% SMI hasil lapang dipengaruhi oleh LST. Persamaan regresi $y = -3,0251x - 58,682$ menunjukkan setiap kenaikan nilai LST sebesar 1 satuan maka akan memberikan pengaruh negatif terhadap nilai SMI hasil lapang sebesar 3,0251%.



Gambar 12. Hubungan suhu permukaan tanah (LST) dengan kelembaban tanah (SMI)

Hubungan LST dengan SMI hasil pengolahan citra landsat 8 pada tahun 2016, 2017, dan 2018 dapat dilihat pada Gambar 16.



Gambar 13. Grafik hubungan suhu permukaan tanah (LST) dengan indeks kelembaban tanah hasil pengolahan citra landsat 8 OLI/TIRS

Hubungan antara LST dan SMI hasil pengolahan citra landsat 8 OLI/TIRS dapat dilihat pada grafik regresi linear (Gambar 16). Pada grafik regresi linear hasil pengolahan citra landsat tahun 2016, 2017, dan 2018, menunjukkan bahwa hubungan LST dan SMI hasil pengolahan citra landsat 8 OLI/TIRS berkorelasi negatif dengan nilai korelasi r berturut-turut -0,8168, -0,8296, -0,7234. LST memiliki hubungan berpengaruh sangat nyata pada tahun 2016, 2017, dan 2018, terhadap SMI hasil pengolahan citra (Lampiran 9).

Persamaan yang terbentuk dari grafik regresi linear tahun 2016-2018 berturut-turut adalah $y = -0,1453x + 4,4841$, $y = -0,1467x + 4,2279$, dan $y = -3,7693x + 20,166$, dengan nilai koefisien determinasi R^2 berturut-turut 0,6672, 0,6883, 0,5234. Nilai koefisien determinasi R^2 menunjukkan bahwa sebesar 66,72% (2016), 68,83% (2017), 52,34% (2018) dari nilai SMI hasil pengolahan citra landsat dipengaruhi oleh LST. Persamaan regresi $y = ax + b$ menunjukkan setiap kenaikan nilai LST sebesar 1 satuan maka akan memberikan pengaruh negatif terhadap nilai SMI hasil pengolahan citra sebesar, 0,1453% (2016), 0,1467% (2017), dan 3,7693% (2018).

Terdapat kesamaan hasil pada hubungan antara LST dan SMI hasil pengamatan lapang dengan SMI hasil pengolahan citra landsat. Hasil analisis statistik menunjukkan hubungan LST dan SMI hasil pengolahan citra landsat berpengaruh sangat nyata pada semua tahun dari 2016 sampai 2018. Hal yang sama pada SMI hasil pengamatan lapang yang menunjukkan hubungan berpengaruh nyata dengan LST.

Suhu permukaan tanah (LST) dan kelembaban tanah dapat berubah-ubah sementara waktu sesuai dengan jenis tanah, tutupan lahan, dan penggunaan lahan berdasarkan periode waktu siang atau malam dan musim dalam suatu tahun (Zhang *et al.*, 2014). Suhu permukaan tanah merupakan indikator yang baik untuk kelembaban tanah (Carlson, 2007 dalam Zhang *et al.*, 2014). Ketika kekeringan terjadi, terdapat perubahan pada indeks vegetasi dan LST yang mengungkapkan kenampakan abnormal pada fisiologis tanaman, yang tidak secara langsung merefleksikan kondisi air pada lahan pertanian atau status tekanan panas (*heat stress status*). Hasil-hasil penelitian (Al-Kayssi *et al.*, 1990; Seneviratne *et al.*,

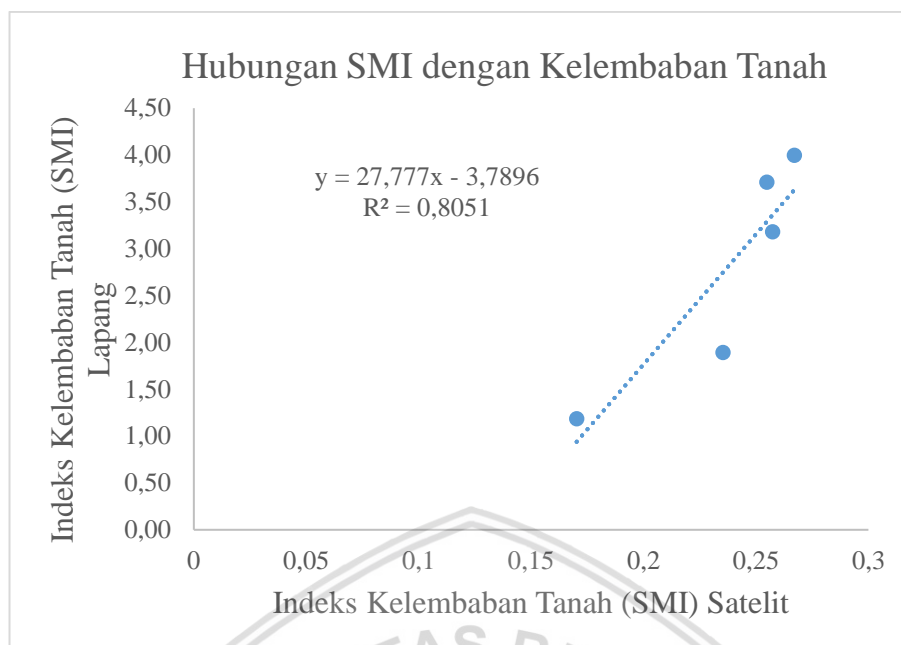
2010; Zhang *et al.*, 2014; Sriboon *et al.*, 2017; Oyeyemi *et al.*, 2018), menunjukkan suhu permukaan tanah meningkat seiring dengan menurunnya kelembaban tanah.

Hubungan antara suhu permukaan tanah dengan kelembaban tanah yang lain terjadi di wilayah tenggara China yang mengalami kekeringan sejak musim gugur pada 2009. Wang *et al.*, (2010 dalam Zhang *et al.*, 2014), menjelaskan wilayah tenggara China yang mengalami kekeringan dikarenakan pada wilayah tersebut mengalami penurunan curah hujan sampai kurang dari 50% pada periode tersebut. Suhu relatif lebih tinggi daripada periode yang sama tahun sebelumnya selama beberapa tahun terakhir, fenomena tersebut menyebabkan dampak yang sangat serius terhadap pertumbuhan dan produksi tanaman budidaya pertanian di suatu wilayah (Keener dan Kircher, 1983; DeJonge *et al.*, 2015; Gerhards *et al.*, 2016).

4.6. Hubungan SMI dengan Kelembaban Tanah

Hubungan antara SMI hasil pengamatan lapang dengan SMI hasil dari pengolahan citra landsat 8 OLI/TIRS pada perekaman 16 Februari 2018 dapat dilihat pada grafik regresi linear (Gambar 17). Grafik tersebut menunjukkan bahwa hubungan SMI lapang dengan SMI hasil dari pengolahan landsat berkorelasi positif dengan nilai korelasi $r = 0,897$. Hubungan SMI hasil pengolahan citra menunjukkan hubungan berpengaruh nyata dengan SMI hasil lapang (Lampiran 10).

Persamaan yang terbentuk dari grafik regresi linear adalah $y = 27,777x - 3,7896$ dengan koefisien determinasi $R^2 = 0,8051$. Nilai koefisien determinasi R^2 menunjukkan bahwa sebesar 80,51% SMI hasil pengolahan citra landsat dipengaruhi oleh SMI hasil pengamatan lapang. Persamaan regresi $y = 27,777x - 3,7896$ menunjukkan setiap kenaikan nilai SMI hasil pengolahan citra landsat sebesar 1 satuan maka akan memberikan pengaruh positif terhadap nilai SMI lapang sebesar 27,777%.



Gambar 14. Hubungan SMI pengolahan landsat dengan kelembaban tanah lapang

SMI hasil pengolahan citra satelit mampu menduga kelembaban tanah menjadi sebuah peta. Hasil dari validasi menunjukkan koefisien determinasi sebesar 80,51% antara SMI hasil pengolahan citra dengan SMI hasil pengamatan lapang, dan hubungan yang berpengaruh nyata. Maka dari itu pendugaan kelembaban tanah menggunakan citra landsat 8 melalui *Soil Moisture Index* (SMI) mampu digunakan untuk menduga kelembaban tanah pada lokasi penelitian di Kebun Percobaan Karangploso, Kabupaten Malang.

Peta kelembaban tanah dapat digunakan untuk memonitoring kelembaban tanah secara teratur pada area yang luas. Kelembaban tanah adalah suatu parameter yang biasa digunakan untuk kalkulasi dari hampir semua indikator kekeringan (Leeuwen, 2015). Kecenderungan kelembaban tanah dikombinasikan dengan hal yang berhubungan dengan meteorologi, klimatologi, geomorfologi, dan data pedologi diharapkan dapat memberikan informasi untuk membantu mencegah kekeringan dan banjir permukaan (Leeuwen, 2015; Martínez-Fernández *et al.*, 2015). Observasi satelit penting untuk mengamati suhu permukaan tanah (LST) dan kelembaban tanah karena cakupan wilayah yang luas dan data temporal citra landsat yang tersedia setiap 16 hari sekali. Namun harus diingat untuk validasi hasil kelembaban tanah menggunakan citra landsat, harus disesuaikan tanggal perekaman citra landsat dengan pengamatan kelembaban tanah dilapang. Peta

indeks kelembaban tanah (SMI) yang dihasilkan dapat digunakan sebagai input untuk irigasi dan drainase sebagai upaya pengelolaan lahan untuk meningkatkan produktivitas tanaman.



V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

1. Pendugaan kelembaban tanah di Kebun Percobaan Balittas Karangploso menggunakan *Soil Moisture Index* (SMI) dapat dilakukan di wilayah penelitian.
2. Tutupan vegetasi menggunakan *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) di Kebun Percobaan Balittas Karangploso menunjukkan hubungan korelasi positif dan berpengaruh nyata terhadap kelembaban tanah, dengan nilai koefisien determinasi sebesar 83,77%.
3. Suhu permukaan tanah menggunakan *Land Surface Temperature* (LST) pada lapisan tanah atas (*Top Soil*) di Kebun Percobaan Balittas Karangploso menunjukkan hubungan korelasi negatif dan berpengaruh nyata terhadap kelembaban tanah, dengan nilai koefisien determinasi sebesar 80,51%.

5.2. Saran

1. Perlu dilakukan identifikasi dan perbandingan metode spasial pendugaan kelembaban tanah lainnya, untuk membandingkan keefektifan indeks kelembaban tanah (SMI) dengan indeks kelembaban tanah lainnya.
2. Pada saat menggunakan citra landsat untuk pendugaan kelembaban tanah, waktu validasi dilapangan perlu disamakan tanggalnya dengan tanggal perekaman citra landsat, untuk hasil yang lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- Abbasi, Y., B. Ghanbarian-Alavijeh, A. M. Liaghat dan M. Shorafa. 2011.
Evaluation of Pedotransfer Functions for Estimating Soil Water Retention Curve of Saline and Saline-Alkali Soils of Iran. *Pedosphere*. Vol. 21 (2): 230-237.
- Aggarwal, S. 2003. Principles Of Remote Sensing. Satellite Remote Sensing and GIS Applications in Agricultural Meteorology. Indian Institute of Remote Sensing: Dehra Dun. 23-38.
- Al-Kayssi, A. W., A. A. Al-Karaghoul, A. M. Hasson dan S. A. Beker. 1990.
Influence of Soil Moisture Content on Soil Temperature and Heat Storage under Greenhouse Conditions. *Journal of Agricultural Engineering Research*. Vol. 45: 241-252.
- Al-Yaari, J.-P. Wigneron, Y. Kerr, N. Rodriguez-Fernandez, P. E. O'Neill, T. J. Jackson, G. J. M. De Lannoy, A. Al Bitar, A. Mialon, P. Richaume, J. P. Walker, A. Mahmoodi dan S. Yueh. 2017. Evaluating Soil Moisture Retrievals from ESA's SMOS and NASA's SMAP Brightness Temperature Datasets. *Remote Sensing of Environment*. Vol. 193: 257-273.
- Ahmed, Mohamed., B. Else., L. Esklund., J. Ardo, dan J. Seaquist. 2017.
Dynamic Response of NDVI to Soil Moisture Variations during Different Hydrological Regimes in the Sahel Region. *International Journal of Remote Sensing*. Vol. 38 (19): 5409-5429.
- Asrar, G., dan R. B. Myneni. 1993. Atmospheric Effects in The Remote Sensing of Surface Albedo and Radiation Absorption by Vegetation Canopies. *Remote Sensing Reviews*. Vol. 7 (2): 197-222.
- Badeck, F. W., A. Bondeau, K. Bottcher, D. Doktor, W. Lucht, J. Schaber, dan S. Sitch. 2004. Responses of Spring Phenology to Climate Change. *New Phytol*. Vol. (162): 295-309.
- Begni, G., R. Escadafal, D. Fontannaz dan N. A.-T. Hong-Nga. 2005. Remote Sensing: a Tool to Monitor and Assess Desertification. *Les dossiers thématiques du CSFD*. Issue Vol. (2) 44.
- Bescansa, P., M. J. Imaz, I. Virto, A. Enrique dan W. B. Hoogmoed. 2006. Soil

- Water Retention as Affected by Tillage and Residue Management in Semiarid Spain. *Soil and Tillage Research*. Vol. 87(1): 19-27.
- Botula, Y.-D., W.M. Cornelis, G. Baert dan E. Van Ranst. 2012. Evaluation of Pedotransfer Functions for Predicting Water Retention of Soils in Lower Congo (D.R. Congo). *Agricultural Water Management*. Vol. 111: 1-10.
- Brown, H., S. Carrick, K. Müller, S. Thomas, J. Sharp, R. Cichota, D. Holzworth dan B. Clothier. 2018. Modelling Soil-Water Dynamics in The Rootzone of Structured and Water-Repellent Soils. *Computers & Geosciences*. Vol. 113: 33-42.
- Brown, J.F., B.D. Wardlaw, T. Tadesse, M.J. Hayes dan B.C. Reed. 2008. The Vegetation Drought Response Index (VegDRI): A New Integrated Approach for Monitoring Drought Stress in Vegetation. *GIScience and Remote Sensing*. Vol. 45(1): 16-46.
- Campbell, J. B. 2002. *Introduction to Remote Sensing* (3rd ed.). The Guilford Press.
- Carlson, T.N., R.R. Gillies dan Eileen M. Perry. 1994. A Method to Make use of Thermal Infrared Temperature and NDVI Measurements to Infer Surface Soil Water Content and Fractional Vegetation Cover. *Remote Sensing Reviews*. Vol 9(1-2): 161-173.
- Chapin, F. S., G. R. Shaver, A. E. Giblin, K. J. Nadelhoffer, dan J. A. Laundre. 1995. Responses of Arctic Tundra to Experimental and Observed Changes in Climate. *Ecology*. Vol. (76): 694–711.
- Chen, J., C. Wang, H. Jiang, L. Mao dan Z. Yu. 2011. Estimating Soil Moisture using Temperature–Vegetation Dryness Index (TVDI) in the Huang-huai-hai (HHH) Plain. *International Journal of Remote Sensing*. Vol. 32(4): 1165-1177.
- Cohen, B. Warren., Garman, Steven L., Kushla, John D., Ripple, dan William J. 1996. An Introduction to Digital Methods in Remote Sensing of Forested Ecosystems: Focus on the Pacific Northwest, USA. *Environmental Management*. Vol. 20 (3): 421-435.
- Crippen, R.E. 1990. Calculating the Vegetation Index Faster. *Remote Sensing of Environment*. Vol. 34: 71-73.

- Datla, R.U., J.P.Rice, K.R.Lykke, B.C.Johnson, J.J.Butler and X.Xiong. 2011. Best Practice Guidelines for Pre-Launch Characterization and Calibration of Instruments for Passive Optical Remote Sensing. *Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology*. Vol. 116(2): 612–646.
- Davenport, M.L. dan S.E. Nicholson. 1993. On The Relation Between Rainfall and the Normalized Difference Vegetation Index for Diverse Vegetation Types in East Africa. *International Journal of Remote Sensing*. Vol. 14 (12): 2369-2389.
- Defries, R.S. dan J.R.G. Townshend. 1994. NDVI-derived Land Cover Classifications at a Global Scale. *International Journal of Remote Sensing*. Vol. 15(17): 3567-3586.
- DeJonge, K.C., S. Taghvaeian, T.J. Trout, dan L.H. Comas. 2015. Comparison of Canopy Temperature-Based Water Stress Indices for Maize. *Agricultural Water Management*. Vol. 156: 51-62.
- Denmead, O.T. dan R.H.Shaw. 1962. Availability of Soil Water to Plants as Affected by Soil Moisture Content and Meteorological Conditions 1. *Agronomy Journal*, 54(5): 385-390
- Duley, F.L., dan L.L. Kelly. 1941. *Surface Conditions of Soil and Time of Application as Related to Intake of Water*. USDA Circular 608.
- Departemen Kehutanan Direktorat Jendral Reabilitas Lahan dan Perhutanan Sosial. 2005. *Pedoman Inventarisasi dan Identifikasi Lahan Kritis Mangrove*: Jakarta.
- Ebrahimi-Khusfi, M., S.K.Alavipanah, S.Hamzeh, F.Amiraslani, N.N.Samany dan J.-P.Wigneron. 2018. Comparison of Soil Moisture Retrieval Algorithms Based on The Synergy between SMAP and SMOS-IC. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. Vol. 67: 148-160.
- Eklundh, E. 1998. Estimating Relations between AVHRR NDVI and Rainfall in East Africa at 10-day and Monthly Time Series. *International Journal of Remote Sensing*. Vol. 19: 563-568.
- Fabrizzi, K.P., F.O.García, J.L.Costa dan L.I.Picone. 2005. Soil Water Dynamics,

Physical Properties and Corn and Wheat Responses to Minimum and no-Tillage Systems in The Southern Pampas of Argentina. *Soil and Tillage Research*. Vol. 81(1): 57-69.

Feddes, R.A., P.Kabat, P.J.T.Van Bakel, J.J.B.Bronswijk dan J.Halbertsma.

1988. Modelling Soil Water Dynamics in The Unsaturated Zone State of the art. *Journal of Hydrology*. Vol. 100(1-3): 69-111.

G. Meera Gandhi, S. Parthiban, N. Thummalu, dan A. Chisty. 2015. NDVI:

Vegetation Change Detection using Remote Sensing and GIS—A Case Study of Vellore District. *Procedia Computer Science*. Vol. 57 (2015): 1199 – 1210.

Garg, A., J. Li, J.Hou, C.Berretta dan A.Garg. 2017. A New Computational

Approach for Estimation of Wilting Point for Green. *Infrastructure Measurement*. Vol. 111: 351-358

Gates, D.M. 1980. *Biophysical Ecology*. New York: Springer-Verlag

Georganos, S., A.M. Abdi, D. E. Tenenbaum dan S. Kalogirou. 2017. Examining the NDVI-rainfall Relationship in the Semi-Arid Sahel using Geographically Weighted Regression. *Journal of Arid Environments*. Vol. 146: 64-74.

Gerhards, M., G. Rock, M. Schlerf dan T. Udelhoven. 2016. Water Stress

Detection in Potato Plants using Leaf Temperature, Emissivity, and Reflectance. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. Vol. 53: 27-39.

Ghanbarian-Alavijeh, B., A. Liaghat, G.-H. Huang dan M. Th. Van Genuchten. 2010.

Estimation of the van Genuchten Soil Water Retention Properties from Soil Textural Data. *Pedosphere*, 20(4): 456-465.

Gillies, R.R., W. P. Kustas dan K. S. Humes. 1997. A Verification of The

'Triangle' Method for Obtaining Surface Soil Water Content and Energy Fluxes from Remote Measurements of The Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and Surface Energy Balance. *International Journal of Remote Sensing*. Vol. 18(5): 3145-3166.

Givi, J., S.O.Prasher dan R.M.Patel. 2004. Evaluation of Pedotransfer Functions

in Predicting the Soil Water Contents at Field Capacity and Wilting Point.

- Agricultural Water Management. Vol. 70(2): 83-96.
- Goward, S. N., Xue, Y., dan Czajkowski, K. P. (2002). Evaluating Land Surface Moisture Conditions from The Remotely Sensed Temperature/Vegetation Index Measurements: An Exploration with The Simplified Simple Biosphere Model. *Remote Sensing of Environment*. Vol. (79): 225– 242.
- Green, R.E. 1963. Infiltration of Water Into Soils as Influenced by Antecedent Moisture. *Dissertation Abs.* 23: 2270-2271.
- Guo, H., H.Qingni, X.Li, Z.Sun, dan Y.Zhang. 2013. Spatiotemporal analysis of urban environment based on the vegetation–impervious surface–soil model. *Journal of Applied Remote Sensing*, 8: 084597.
- Gutman, G. G. 1990. Towards Monitoring Droughts From Space. *J. Climate*. Vol (3): 282–295.
- Hakim, N. M.Y. Nyakpa, A.M. Lubis, S.G Nugroho, M.R. Saul, M.A. Diha, G.B Hong dan H.H Bailey. 1986. *Dasar Dasar Ilmu Tanah*. Lampung: Universitas Lampung.
- Hendrickx, J.M.H., P.J.Wierenga dan M.S.Nash. 1990. Variability of Soil Water tension and soil water content. *Agricultural Water Management*. Vol. 18(2): 135-148.
- Hochman, Z., N.P.Dalgliesh dan K.L.Bell. 2001. Contribution of Soil and Crop Factors to Plant Available Soil Water Capacity of Annual Crops on Black and Grey Vertosols. *Australian Journal of Soil Research*. Vol. 52: 955–961.
- Holben, B.N. 1986. Characteristics of Maximum-Value Composite Images from Temporal AVHRR Data', *International Journal of Remote Sensing*. Vol. 7(11): 1417-1434.
- Horton, R.E. 1940. An Approach toward a Physical Interpretation of Infiltration Capacity. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* Vol. 5: 399-417.
- Huete, A.R. 1988. A Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI). *Remote Sensing of Environment*. Vol. 25: 53-70.
- Hunt E.D, Hubbard K.G, Willhite D.A, Arkebauer T.J, dan Dutcher A.L. (2008). The Development and Evaluation of A Soil Moisture Index. *Int. J. Climatol*. Vol. (29): 747-759.
- Ichsan C.N, Hayati M., dan Syarifah Putri Mashtura.2010. Respon Kedelai

- Kultivar Kipas Putih dan Wilis Pada Kadar Air Tanah yang Berbeda Terhadap Pertumbuhan dan Hasil. *Agrista*. Vol. 14 (1): 25-29.
- Ignacio, R., Iturbe, dan A. Porporato. 2004. *Ecohydrology of Water Controlled Ecosystems*. New York: Cambridge University Press.
- Jemai, I., N.B.Aissa, S.B.Guirat, M.Ben-Hammouda dan T.Gallali. 2013. Impact of Three and Seven Years of no-Tillage on The Soil Water Storage, in The Plant Root Zone, under a Dry Subhumid Tunisian Climate. *Soil and Tillage Research*. Vol. 126: 26-33
- Jensen, J. R. 2005. *Digital Image Processing: a Remote Sensing Perspective* (3rd ed.). Prentice Hall.
- Jensen, J. R. 2007. *Remote Sensing of The Environment: An Earth Resource Perspective* (2nd ed.). Prentice Hall. ISBN 0-13-188950-8.
- Karnieli, A., Agam, N., Pinker, R.T., Anderson, M., Imhoff, M.L., Gutman, G.G., Panov, N., dan Alexander Goldberg. 2010. Use of NDVI and Land Surface Temperature for Drought Assessment: Merits and Limitations. *Journal of Climate*. Vol. 23: 618-623.
- Kaufman, Y.J. dan D.Tanre. 1992. Atmospherically Resistant Vegetation Index (ARVI) for EOS-MODIS. In *Proc. IEEE Int. Geosci. and Remote Sensing Symp. '92*, IEEE, New York, 261-270.
- Keener, M.E. dan P.L. Kircher. 1983. The use of Canopy Temperature as an Indicator of Drought Stress in Humid Regions. *Agricultural Meteorology*. Vol. 28 (4): 339-349.
- Kerr, Y.H., A.Mahmoodi, A. Mialon, A. Al Biltar, N. Rodríguez-Fernández, P. Richaume, F. Cabot, J.P. Wigneron, P. Waldteufel, P. Ferrazzoli, M. Schwank dan S. Delwart. 2018. Soil Moisture Retrieval Algorithms: The SMOS Case, *Comprehensive Remote Sensing*. Vol 10: 156-190.
- Keyantash, J., dan J. A. Dracup. 2002. The Quantification of drought: An Evaluation of Drought Indices. *Bull. Amer. Meteor. Soc.* Vol. 83: 1167–1180.
- Kodešová, R., N.Vignozzi, M.Rohošková, T.Hájková, M.Kočárek, M.Pagliai,

- J.Kozák dan J.Šimůnek. 2009. Impact of Varying Soil Structure on Transport Processes in Different Diagnostic Horizons of Three Soil Types. *Journal of Contaminant Hydrology*. Vol. 104(1–4): 107-125.
- Kuenzer, C. dan S.Dech. 2013. Thermal Infrared Remote Sensing – Sensors, Methods, Applications. *Remote Sensing and Digital Image Processing Series*. Vol. 17: 572.
- Laboratorium Fisika Tanah. 2006. Instruksi Kerja Pelaksanaan Analisis Berat Isi Tanah dan Pengolahan Data. Malang: Jurusan Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya.
- Lapan. 2015. Pedoman Pengolahan Data Penginderaan Jauh Landsat 8 untuk MPT. Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh, Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional, Jakarta.
- Lasaponara, R. dan N.Masini. 2012. Satellite Remote Sensing - A New Tool for Archaeology. *Remote Sensing and Digital Image Processing Series*. Vol. (16): 364.
- Leeuwen, Boudewijn v., 2015. GIS Workflow for Continuous Soil Moisture Estimation Based on Medium Resolution Satellite Data. *AGILE 2015*. 9-12 Juni 2015. Lisbon.
- Lentile, L.B., Z.A.Holden, A.M.S.Smith, M.J.Falkowski, A.T.Hudak, P.Morgan, S.A.Lewis, P.E.Gessler dan N.C.Benson. 2006. Remote Sensing Techniques to Assess Active Fire Characteristics and Post-Fire Effects. *International Journal of Wildland Fire*. Vol. 3 (15): 319–345.
- Lillesand, T.M., R.W.Kiefer dan J.W.Chipman. 2003. *Remote Sensing and Image Interpretation (5th ed.)*. Wiley.
- Liu, W.T. dan F. N. Kogan. 1996. Monitoring Regional Drought using The Vegetation Condition Index. *International Journal of Remote Sensing*. Vol. 17(14): 2761-2782.
- Liu, Y., M.Gao, W.Wu, S.K.Tanveer, X.Wen dan Y.Liao. 2013. The Effects of Conservation Tillage Practices on The Soil Water-Holding Capacity of a non-Irrigated Apple Orchard in the Loess Plateau, China. *Soil and Tillage Research*. Vol. 130: 7-12
- Lwin K. K. 2010. Estimation of Landsat TM Surface Temperature Using

ERDAS Imagine Spatial Modeler. SIS Tutorial Series, Division of Spatial Information Science.

- Magagi, R., Y.Kerr dan J.-P.Wigneron. 2016. Estimation of Soil Water Conditions Using Passive Microwave Remote Sensing, Land Surface Remote Sensing in Continental Hydrology. Vol. 10:41-78.
- McFeeters, S.K. 1996. The Use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in The Delineation of Open Water Features. International Journal of Remote Sensing. Vol. 17(7): 1425-1432.
- Martínez-Fernández, J., A. González-Zamora dan N. Sánchez dan A.Gumuzzio. 2015. A Soil Water Based Index as a Suitable Agricultural Drought Indicator. Journal of Hydrology. Vol. 522: 265-273.
- Michigan Tech Research Institute. 2009. Inputs to the Multi-Criteria Decision Model. National Consortium for Remote Sensing in Transportation.
- Moran, M. S., T. R. Clarke, Y. Inoue, dan A. Vidal, 1994. Estimating Crop Water Deficit using The Relation Between Surface Air Temperature and Spectral Vegetation Index. Remote Sensing of Environment. Vol. 49: 246–263.
- Muñoz-Sabater, J., A.Al Bitar dan L. Brocca. 2016. Soil Moisture Retrievals Based on Active and Passive Microwave Data, Satellite Soil Moisture Retrieval. Vol. 10:351-378.
- Myneni, R.B., F.G.Hall, P.J. Sellers, dan A.L. Marshak. 1995. The Interpretation of Spectral Vegetation Indexes. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. Vol. 33: 481-486.
- Myneni, R.B. dan G.Asrar. 1994. Atmospheric Effects and Spectral Vegetation Indices. Remote Sensing of Environment. Vol. 47 (3): 390-402.
- Nicholson, S.E., M.L. Davenport, dan A.R. Malo. 1990. A Comparison of The Vegetation Response to Rainfall in The Sahel and East Africa, using Normalized Difference Vegetation Index from NOAA AVHRR. Climatic Change. Vol. 17 (2-3): 209-241.
- Nicholson, S.E. dan T.J. Farrar. 1994. The Influence of Soil Type on the Relationships between NDVI, Rainfall, and Soil Moisture in Semiarid Botswana NDVI Response to Rainfall. Remote Sensing of Environment. Vol. 50 (2): 107-120.

- Ofwono, M., K.Dabrowska-Zielinska, J. Kaduk dan V. Nicolás-Perea. 2017. Satellite Derived Information for Drought Detection and Estimation of Water Balance, Earth Observation for Land and Emergency Monitoring. 285-299.
- Omuto, C.T., R.R. Vargas, M.S. Alim dan P. Paron. 2010. Mixed-effects Modelling Of Time Series NDVI-Rainfall Relationship For Detecting Human-Induced Loss Of Vegetation Cover In Drylands. *Journal of Arid Environments*. Vol. 74: 1552-1563.
- Oyeyemi, K.D., O.A. Sanuade, M.A. Oladunjoye, A.P. Aizebeokhai, A.A. Olajo, J.O. Fatoba, O.M. Olofinnade, W.A. Ayara dan O. Oladapo. 2018. Data on The Thermal Properties of Soil and its Moisture Content. *Data in Brief*. Vol. 17: 900-906.
- Pachepsky, Y.A., D.J.Timlin dan W.J. Rawls. 2001. Soil Water Retention as Related to Topographic Variables. *Soil Science Society of America Journal*. Vol. 65 (6): 1787-1795
- Parida B. R., Collado W. B., Borah R., Hazarika M. K., dan Samarakoon L. 2008. Detecting Drought-Prone Areas of Rice Agriculture Using a MODIS-Derived Soil Moisture Index. *GIScience dan Remote Sensing*. Vol. 45 (1): 109 – 129.
- Parlange, M.B., A.T.Cahill, D.R.Nielsen, J.W.Hopmans dan O.Wendroth. 1998. Review of Heat and Water Movement in Field Soils. *Soil and Tillage Research*. Vol. 47(1-2): 5-10.
- Parrens, M., J.-P.Wigneron, P.Richaume, A.Al Bitar, A.Mialon, R.Fernandez Moran, A.Al-Yaari, P.O'Neill dan Y.Kerr. 2017. Considering Combined or Separated Roughness and Vegetation Effects in Soil Moisture Retrievals. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. Vol. 55: 73-86.
- Patel, N.R., R.Anapashsha , S.Kumar, S.K.Saha dan V.K.Dadhwal. 2009. Assessing Potential of MODIS Derived Temperature/Vegetation Condition Index (TVDI) to Infer Soil Moisture Status. *International Journal of Remote Sensing*. Vol. 30(1): 23-39.
- Pinty, B. dan M.M.Verstraete. 1992. GEMI: A non-Linear Index to Monitor

- Global Vegetation from Satellites. Vegetatio. Vol. 101: 15-20.
- Potic, I., Bugarski, M., dan J. Matic-Varenica. 2017. Soil Moisture Determination using Remote Sensing Data for The Property Protection and Increase of Agriculture Production. World Bank Conference on Land and Poverty (Paper). Washington DC, March 20-24, 2017.
- Prasasti, I., C. Ita, dan Idung Riadhiyanto. 2012. Kajian Pemanfaatan Data Alospalsar dalam Pemetaan Kelembaban Tanah. Jurnal Penginderaan Jauh. Vol. 9 (2): 102-113.
- Qin, Z., A. Karnieli dan P. Berliner. 2001. A Mono-Window Algorithm for Retrieving Land Surface Temperature from Landsat TM Data and its Application to The Israel-Egypt Border Region. International Journal of Remote Sensing. Vol. 22(8): 3719-3746.
- Rab, M.A., S.Chandra, P.D.Fisher, N.J.Robinson, M. Kitching, C.D.Aumann dan M.Imhof. 2011. Modelling and Prediction of Soil Water Contents at Field Capacity and Permanent Wilting Point of Dryland Cropping Soils. Soil Research. Vol. 49(5): 389-407.
- Ramadhan, Haniif. 2018. Inventarisasi Morfologi dan Klasifikasi pada Tutupan Lahan di Kebun Percobaan Balittas Karangploso, Malang (belum publish). Skripsi S1 Universitas Brawijaya Malang.
- Rawls, W.J., Y.A.Pachepsky, J.C.Ritchie, T.M.Sobecki dan H.Bloodworth. 2003. Effect of Soil Organic Carbon on Soil Water Retention. Geoderma. Vol. 116: 61-76.
- Rawls, W.J. dan D.L.Brakensiek. 1989. Estimation of Soil Water Retention and Hydraulic Properties. Unsaturated flow in hydrologic modeling. p.275-300.
- Rawls, W.J., D.Gimenez dan R.Grossman. 1998. Use of Soil Texture, Bulk Density, and Slope of The Water Retention Curve to Predict Saturated Hydraulic Conductivity. Transactions of the ASAE . Vol. 41(4): 983
- Rawls, W.J., T.J. Gish dan D.L.Brakensiek. 1991. Estimating Soil Water Retention from Soil Physical Properties and Characteristics. Advances in soil science. p.213-234.
- Rawls, W.J., Y.A.Pachepsky, J.C.Ritchie, T.M.Sobecki dan H.Bloodworth. 2003.

Effect of Soil Organic Carbon on Soil Water Retention. *Geoderma*. Vol 116 (1-2): 61-76

Reynolds, C.A., T.J. Jackson dan W.J. Rawls. 2000. Estimating Soil Water-Holding Capacities by Linking The Food and Agriculture Organization Soil Map of The World With Global Pedon Databases and Continuous Pedotransfer Functions. *Water Resources Research*. Vol. 36(12): 3653-3662.

Richards, J.A dan X. Jia. 2006. *Remote Sensing Digital Image Analysis: An Introduction (4th ed.)*. Springer.

Richardson, A.J. dan C.L. Wiegand. 1977. Distinguishing Vegetation from Soil Background Information. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. Vol. 43: 1541-1552.

Ritchie, J.T. 1973. Influence of Soil Water Status and Meteorological Conditions on Evaporation from a Corn Canopy. *Agron. J.* Vol. 65: 893-897.

Ritchie, J.T. 1981. Soil water availability. *Plant and Soil*. Vol. 58(1-3): 327-338.

Ritung, S., K. Nugroho, A. Mulyani, dan E. Suryani. 2011. *Petunjuk Teknis Evaluasi Lahan Untuk Komoditas Pertanian* (Edisi Revisi). Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Bogor.

Rogan, J. dan D.M. Chen. 2004. Remote Sensing Technology for Mapping and Monitoring Land-Cover and Land-Use Change. *Progress in Planning*. Vol. 61: 301-325.

Rouse, J.W., R.H. Haas, J.A. Schell, dan D.W. Deering. 1973a. Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS. Third ERTS Symposium, NASA

Rouse, J.W., R.H. Haas, J.A. Schell, dan D.W. Deering. 1973. Monitoring The Vernal Advancement and Retrogradation (Green Wave Effect) of natural Vegetation. Prog. Rep. RSC 1978-1, Remote Sensing Center, Texas A&M Univ., College Station, 93p.

Salem, H.M., C. Valero, M.Á. Muñoz, M.G. Rodríguez dan L.L. Silva. 2015. Short Term Effects of Four Tillage Practices on Soil Physical Properties, Soil Water Potential, and Maize Yield. *Geoderma*. Vol. 237-238: 60-70.

Sandholt, I., Rasmussen, K., dan Andersen, J. (2002). A Simple Interpretation of

The Surface Temperature/Vegetation Index Space for Assessment of Surface Moisture Status. *Remote Sensing of Environment*. Vol. 79: 213-224.

- Sasminto, R.A., Tunggul A., dan J.B. Rahadi W. 2013. Analisis Spasial Penentuan Iklim Menurut Klasifikasi Schmidt-Ferguson dan Oldeman di Kabupaten Ponorogo. *Jurnal Sumberdaya Alam & Lingkungan*. Vol. 1 (1): 51-56.
- Saxton, K.E. dan W.J. Rawls. 2006. Soil Water Characteristic Estimates by Texture and Organic Matter for Hydrologic Solutions. *Soil science society of America Journal*. Vol. 70(5): 1569-1578.
- Schott, J.R. 2007. *Remote Sensing: The Image Chain Approach* (2nd ed.). Oxford University Press.
- Schowengerdt, R.A. 2007. *Remote Sensing: Models and Methods for Image Processing* (3rd ed.). Academic Press.
- Sellers, P. J. 1985. Canopy Reflectance, Photosynthesis, and Transpiration. *International Journal of Remote Sensing*. Vol. 6: 1335-1372.
- Shafian S. dan S.Maas. 2015. Index of Soil Moisture Using Raw Landsat Image Digital Count Data in Texas High Plains. *Remote Sensing*. Vol. 7: 2352 – 2372.
- Seneviratne, S.I., T. Corti, E.L. Davin, M. Hirschi, E.B. Jaeger, I. Lehner, B. Orlowsky dan A.J. Teuling. 2010. Investigating Soil Moisture–Climate Interactions in a Changing Climate: A Review. *Earth-Science Reviews*. Vol. 99 (3–4): 125-161.
- Sriboon, W., U.Tuntiwaranuruk, and N. Sanoamuang. 2017. Hourly Soil Temperature and Moisture Content Variations Within A Concrete Pipe Container For Planting Lime Trees in Eastern Thailand. *Case Studies in Thermal Engineering*. Vol. 10: 192-198
- Sridhar, V., K.G.Hubbard, J.You dan E.D. Hunt. 2008. Development of the Soil Moisture Index to Quantify Agricultural Drought and Its “User Friendliness” in Severity-Area-Duration Assessment. *Journal Of Hydrometeorology*. Vol. 9: 660-676.
- Tian, H., dan M.Iqbal. 2018. Utilizing a New Soil Effective Temperature Scheme

and Archived Satellite Microwave Brightness Temperature Data to Estimate Surface Soil Moisture in the Nagqu Region, Tibetan Plateau of China. *Journal of Arid Land*. Vol. 10(1): (84-100).

- Trishchenko, A.P. 2009. Effects of Spectral Response Function on Surface Reflectance and NDVI Measured with Moderate Resolution Satellite Sensors: Extension to AVHRR NOAA-17, 18 and METOP-A. *Remote Sensing of Environment*. Vol. 113 (2): 335-341.
- Trishchenko, A.P., J. Cihlar, Z. Li dan B. Hwang. 2002a. Long-term Monitoring of Surface Reflectance, NDVI, and Clouds from Space: What Contribution Can We Expect Due to The Effect of Instrument Spectral Response Variations? *Atmospheric Radiation Measurements and Applications in Climate*. Vol. 4815: 108-120.
- Trishchenko, A.P., J. Cihlar dan Z. Li. 2002. Effects of Spectral Response Function on Surface Reflectance and NDVI Measured with Moderate Resolution Satellite Sensors. *Remote Sensing of Environment*. Vol. 81(1): 1-18.
- Tucker, C.J. 1979. Red and Photographic Infrared Linear Combinations for Monitoring Vegetation. *Remote Sensing of Environment*. Vol. 8(2): 127-150.
- Tucker, C.J., J.E. Pinzon, M.E. Brown, D.A. Slayback, E.W. Pak dan R. Mahoney. 2005. An extended AVHRR 8-km NDVI Dataset Compatible with MODIS and SPOT Vegetation NDVI Data. *International Journal of Remote Sensing*. Vol. 26(20): 4485-4498
- USGS. 2016. *Landsat 8 (L8) Data Users Handbook version 2.0*. South Dakota: Department of the interior. U.S Geological Survey.
- Utomo, M., Sabrina, T., Sudarsono., Lumbanraja, J., Rusman, B., dan Wawan. 2016. *Ilmu Tanah: Dasar-dasar dan Pengelolaan*. Jakarta: Prenadamedia Group.
- Van De Griend, A.A. dan M. Owe. 1993. On The Relationship between Thermal Emissivity and the Normalized Difference Vegetation Index for Natural Surfaces. *International Journal of Remote Sensing*. Vol. 14(6): 1119-1131.
- Van Wijk, M. T., M. Williams, J. A. Laundre, dan G. R. Shaver. 2003. In

Interannual Variability of Plant Phenology in Tussock Tundra: Modelling Interactions of Plant Productivity, Plant Phenology, Snowmelt and Soil Thaw. *Global Change Biol.* Vol. (9): 743–758.

- Vani, V., Kumar, K. Pavan, dan Mandla Venkata Ravibabu. 2018. Temperature and Vegetation Indices Based Surface Soil Moisture Estimation: A Remote Data Approach. *Proceedings of International Conference on Remote Sensing for Disaster Management*: 281-287. Springer: Cham, Switzerland
- Verhulst, N., dan B. Govaerts. 2010. The Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) GreenSeeker™ Handheld Sensor: Toward The Integrated Evaluation of Crop Management. Part A: Concepts and Case Studies. Mexico, D.F.; CIMMYT.
- Wan, Z., P. Wang dan X. Li. 2004. Using MODIS Land Surface Temperature and Normalized Difference Vegetation Index products for monitoring drought in the southern Great Plains, USA. *International Journal of Remote Sensing*. Vol. 25(1): 61-72.
- Wan, Z., Y. Zhang, Q. Zhang dan Z.-L. Li. 2004. Quality Assessment and Validation of the MODIS Global Land Surface Temperature. *International Journal of Remote Sensing*. Vol. 25(1): 261-274.
- Wang, L. dan J. Qu. 2009. Satellite Remote Sensing Applications for Surface Soil Moisture Monitoring: A review. *Front. Earth Sci. China*. Vol. 3: 237-247.
- Weng, Q., Lu, D., dan J. Schrubring. 2004. Estimation of Land Surface Temperature Vegetation Abundance Relationship for Urban Heat Island Studies. *Remote Sensing of Environment*. Vol. 89 (2004): 467–483.
- Williams, R.E. dan D.W. Allman. 1969. Factors Affecting Infiltration and Recharge in a Loess Covered Basin. *Journal of Hydrology*. Vol. 8(3): 265-281.
- Wisnarini, D.T., Sunardi, dan Yunus Anis. 2014. Metode Klasifikasi Spasial sebagai Pendukung Informasi Kelas pada Data Indikator Banjir. *Jurnal Teknologi Informasi DINAMIK*. Vol. 19 (2): 120-136
- Young, E.N, Anderson, Ryan S., Chignell, Stephen M., Vorster, Anthony G.,

- Lawrence, Rick, dan Paul H. Evangelista. 2017. A Survival Guide to Landsat Preprocessing. *Ecology*. Vol. 98 (4): 920–932.
- Yue, W., Xu, J., Tan, W., dan L. Xu. 2007. The Relationship between Land Surface Temperature and NDVI with Remote Sensing: Application to Shanghai Landsat 7 ETM⁺ Data. *International Journal of Remote Sensing*. Vol. 28 (15): 3205-3226.
- Zeng, Y., Z. Feng dan N. Xiang. 2004. Assessment of Soil Moisture using Landsat ETM⁺ Temperature/Vegetation Index in Semiarid Environment. *Geoscience and Remote Sensing Symposium, IGARSS '04. Proceedings. 2004 IEEE International*. Vol. 6: 4306 – 4309.
- Zhan, Z., Q. Qin dan X. Wang. 2004. The Application of LST/NDVI Index for Monitoring Land Surface Moisture in Semiarid Area. *Geoscience and Remote Sensing, IGARSS '04. Proceedings 2004 IEEE International*, 3:1551 – 1555.
- Zhang, F., Zhang L. W., Shi J.J., dan Huang, J.F., 2014. Soil Moisture Monitoring Based on Land Surface Temperature Vegetation Index Space Derived from MODIS Data. *Pedosphere*. Vol. 24 (4): 450–460.
- Zhao, L., K. Yang, J. Qin dan Y. Chen. 2013. Optimal Exploitation of AMSR-E Signals for Improving Soil Moisture Estimation Through Land Data Assimilation. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. Vol. 51(1): 399-410.
- Zheng, D., X. Wang, R. van der Velde, P. Ferrazzoli, J. Wen, Z. Wang, M. Schwank, A. Colliander, R. Bindlish dan Z. Su. 2018. Impact of Surface Roughness, Vegetation Opacity and Soil Permittivity on L-band Microwave Emission and Soil Moisture Retrieval in The Third Pole Environment. *Remote Sensing of Environment*. Vol. 209: 633-647.